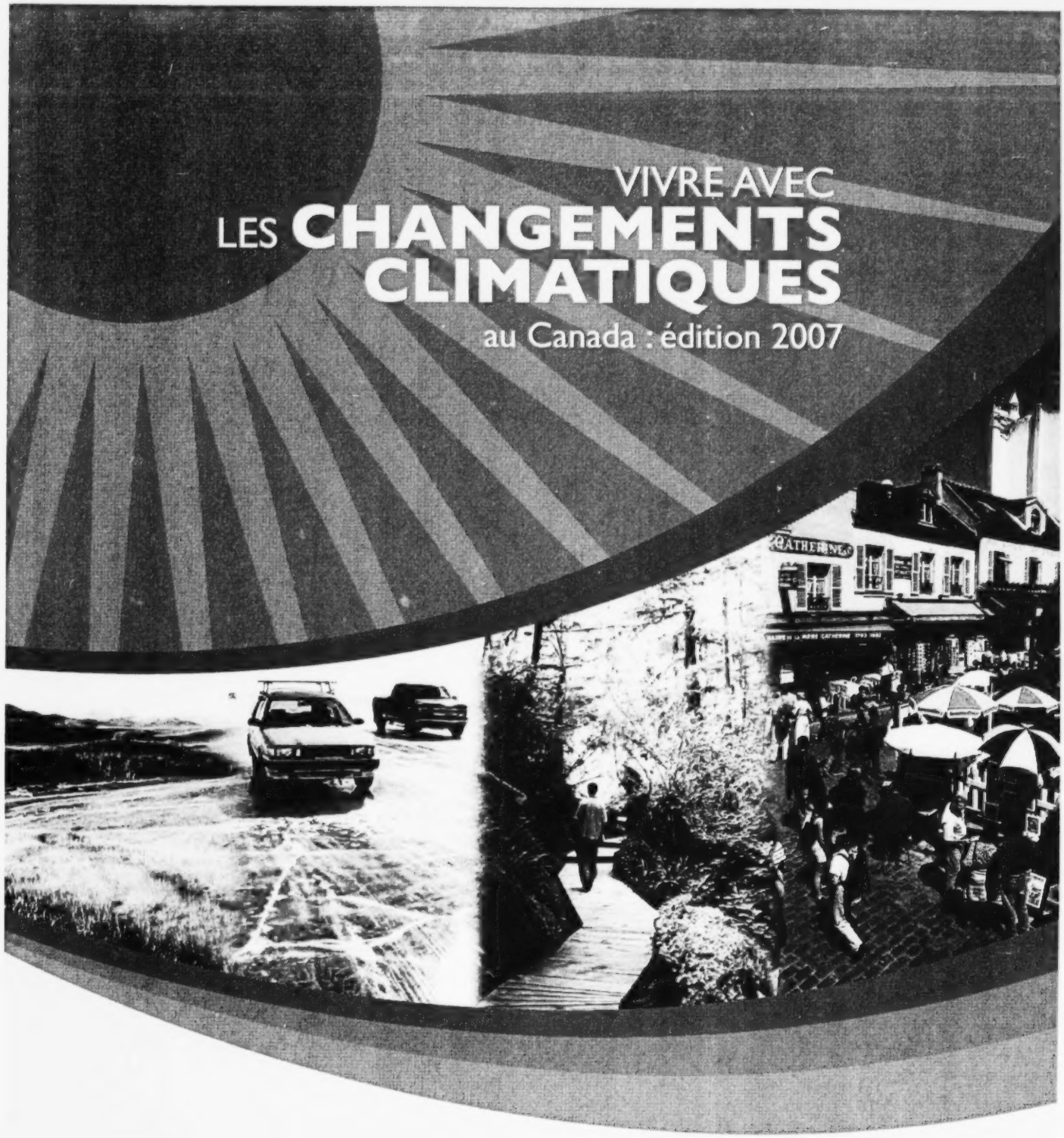
VIVRE AVEC LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

au Canada : édition 2007



Gouvernement du Canada Government of Canada

Canada

PRÉFACE

Le rapport *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007* rend compte des progrès accomplis au cours des dix dernières années dans l'étude de la vulnérabilité du Canada au changement climatique. Au moyen d'une optique essentiellement régionale, cette évaluation prend en considération à la fois les risques et les possibilités qui accompagnent le changement climatique au Canada, en mettant l'accent sur les systèmes humains et les systèmes gérés. Elle s'appuie sur une analyse critique des connaissances actuelles, tirées de documents scientifiques et techniques, et du savoir des experts. Le rapport établit l'état actuel des connaissances et cerne les principales lacunes. Il fait état des progrès accomplis dans le domaine de l'adaptation et présente des exemples d'initiatives récentes et en cours.

Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007

Réviseurs

Donald S. Lemmen	Ressources naturelles Canada
Fiona J. Warren	Ressources naturelles Canada
Jacinthe Lacroix	Environment Canada
Elizabeth Bush	Environment Canada

Auteurs principaux

Alain Bourque	Ouranos, Montréal (Québec)
James P. Bruce	Soil and Water Conservation Society, Ottawa (Ontario)
Ian Burton	Chercheur indépendant, Toronto (Ontario)
Norm R. Catto	Memorial University of Newfoundland, St. John's (Terre-Neuve et Labrador)
Quentin Chiotti	Pollution Probe, Toronto (Ontario)
Paul Egginton	Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario)
Chris Furgal	Trent University, Peterborough (Ontario)
Erik Haites	Margaree Consultants, Toronto (Ontario)
Suren Kulshreshtha	University of Saskatchewan, Saskatoon (Saskatchewan)
Beth Lavender	Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario)
Donald S. Lemmen	Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario)
Terry D. Prowse	Environnement Canada et University of Victoria, Victoria (Colombie-Britannique)
David Sauchyn	Prairie Adaptation Research Collaborative, Regina (Saskatchewan)
Guillaume Simonet	Ouranos, Montréal (Québec)
Robin Sydneysmith	University of British Columbia, Vancouver (Colombie-Britannique)
Liette Vasseur	Université Laurentienne, Sudbury (Ontario)
Ian J. Walker	University of Victoria, Victoria (Colombie-Britannique)
Fiona J. Warren	Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario)

Comité consultatif

Alain Bourque	Ouranos
James P. Bruce	Soil and Water Conservation Society
Ian Burton	Chercheur indépendant
Claude Desjarlais	Ouranos
Cindy Dickson	Council of Yukon First Nations
Paul Egginton	Ressources naturelles Canada
Don Forbes	Ressources naturelles Canada
Jenny Fraser	British Columbia Ministry of Environment
Denis Isabel	Conseil canadien des ingénieurs
Linda Mortsch	Environnement Canada
Scot Nickels	Inuit Tapiriit Kanatami
Mary Jane Roberts	Fédération canadienn des municipalités
Jacinthe Séguin	Santé Canada
Barry Smit	Université de Guelph
Elaine Wheaton	Saskatchewan Research Council
Leslie Whitby	Affaires indiennes et du Nord Canada

Secrétariat (Ressources naturelles Canada)

Tanuja Kulkarni - Coordinatrice
Maja Cholich, Amber Lindstedt, Dawn Lirette

On peut obtenir des exemplaires supplémentaires de ce rapport de la :

Division des impacts et de l'adaptation aux changements climatiques
Secteur des sciences de la Terre
Ressources naturelles Canada
601, rue Booth
Ottawa (Ontario) K1A 0E8
adaptation@rncan.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2008

ISBN: 978-0-332-07443-4
N° de catalogue : M174-2/2007F

Cette publication est également disponible à :
http://adaptation2007.rncan.gc.ca

VIVRE AVEC LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU CANADA : ÉDITION 2007

Éditeurs

Donald S. Lemmen
Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques
Ressources naturelles Canada

Fiona J. Warren
Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques
Ressources naturelles Canada

Jacinthe Lacroix
Bureau de l'intégration des évaluations scientifiques
Environnement Canada

Elizabeth Bush
Bureau de l'intégration des évaluations scientifiques
Environnement Canada

Notation bibliographique recommandée:
Lemmen, D.S., F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éditeurs). Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, 448 p.

RÉVISEURS

Les auteurs expriment leur gratitude aux personnes qui suivent pour avoir assuré la révision de chapitres individuals de la présente evaluation:

Phil Adkins
Shardul Agrawala
Gary Anka
Harry Archibald
Elizabeth Atkinson
Trevor Bell
Lianne Bellisario
Pierre Bernier
Andrea Bertram
Yvonne Bialowas
Henning Bjornlund
Dominique Blain
Darcy Blais
Marie Boehm
Martin Bouterice
Gilles Boulet
Jackie Bourgeois
Denis Bourque
Chris Burn
Phil Burton
Elizabeth Bush
Michel Campagna
Ian Campbell
Ann Cavlovic
Yanie Chauret
Ian Church
Kaila-Lea Clarke
Stewart Cohen
Steve Colombo
Neil Cunningham
Jeff Curtis
Jean-Francois Cyr
Graham Daborn
Rob Davis
Edward Dean
Rob de Loë
Ray Desjardins
Jean-Francois Dionne
John Drover
Peter Dzikowski
Ainslee Emerson
Tim Ewanchuk
Jimena Eyzaguirre
Mike Flannigan
Melissa Foley
Donald Forbes
James Ford
Colin Fraser
Jenny Fraser
Samuel Gameda
Sarah Gammell
Rory Gilsenan
Tom Goddard
Pierre Gosselin
Pascale Groulx
Donald Haley
Don Hayley
Elizabeth Harvey
Bruce Hayes
Ross Herrington
Harvey Hill
Phil Hill
Ted Hogg
Alrick Huebener
Paul Hunt
Jean-Willy Ileka
Milan Ilnyckyj
Tracey Jones-Cameron
Ben Kangasniemi
Tim Karlsson
Stephen King
Joan Klaassen
Gail Krantzberg
Daniel Lebel
Claudel Lemieux
Tony Lempriere
Benoît Limoges
Gary Lines
Bob MacGregor
Tim Marta
Greg McKinnon
Félix Meunie
Terry Mills
Kyla Milne
Alex Milton
Linda Mortsch
Nerissa Mulligan
Dean Mundee
Chad Nelson
Denise Neilsen
Peter Neily
Marie-Ève Néron
Sheilah Nolan
Carey Ogilvie
Dean Stinson O'Gorman
Jeff Ollerhead
Sonia Pellow
Gina Penny
Monique Plamondon
Patrick Quealey
Andy Reisinger
Mary Jane Roberts
Scott Robinson
David Schindler
Kim Schmidt
Ryan Schwartz
Daniel Scott
Tiina Searle
Jacinthe Séguin
Michael Seneka
Robert Sexton
Barry Smit
Johanna Smith
Sharon Smith
Jim Sparling
John Stone
Tana Stratton
Erin Swansburg
Tim Takaro
Eric Taylor
Lisa Van Buren
Henry Venema
Anita Walker
Ellen Wall
Holly Hongxin Wang
David Welch
Tim Williamson
Mary-Ann Wilson
Kenneth Wong

TABLE DES MATIÈRES

Synthèse 1
D.S. Lemmen, F.J. Warren and J. Lacroix

CHAPITRE 1 **Introduction** 21
D.S. Lemmen and F.J. Warren and J. Lacroix

CHAPITRE 2 **Information de base: Concepts, aperçus, et approches** 27
Auteurs principaux: F.J. Warren and P. Egginton

CHAPITRE 3 **Nord du Canada** 57
Auteurs principaux: C. Furgal and T.D. Prowse

CHAPITRE 4 **Canada atlantique** 119
Auteurs principaux: L. Vasseur and N. Catto

CHAPITRE 5 **Québec** 171
Auteurs principaux: A. Bourque and G. Simonet

CHAPITRE 6 **Ontario** 227
Auteurs principaux: Q. Chiotti and B. Lavender

CHAPITRE 7 **Prairies** 275
Auteurs principaux: D. Sauchyn and S. Kulshreshtha

CHAPITRE 8 **Colombie-Britannique** 329
Auteurs principaux: I. Walker and R. Sydneysmith

CHAPITRE 9 **Le Canada dans le contexte international** 387
Auteurs principaux: J.P. Bruce and E. Haites

CHAPITRE 10 **Progrès sur la voie de l'adaptation** 425
Auteur: I. Burton

Glossaire 441

Synthèse

Auteurs :
Donald S. Lemmen[1], Fiona J. Warren[1] et Jacinthe Lacroix[2]

Notation bibliographique recommandée :

Lemmen, D.S., Warren, F.J. et J. Lacroix. « Synthèse » dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éditeurs), Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, pp. 1-20.

---

[1] Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Secteur des sciences de la Terre, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario)
[2] Bureau de l'intégration des évaluations scientifiques, Environnement Canada, Gatineau (Québec)

RÉSUMÉ

L'adaptation entraîne un ajustement des décisions, des activités et des opinions aux changements constatés ou prévus des conditions climatiques, en vue d'en freiner les dommages ou de tirer profit des possibilités qu'ils présentent. Dans la lutte contre le changement climatique, l'adaptation est un complément indispensable de la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Au Canada, les mesures d'adaptation doivent s'appuyer sur une connaissance des impacts actuels et projetés du changement climatique et de la vulnérabilité au changement climatique, de même que sur les leçons tirées de l'expérience. Suivent les principales conclusions de cette évaluation nationale des impacts du changement climatique et de l'adaptation, qui font également l'objet de discussions plus approfondies dans les autres sections de la présente synthèse :

- On constate déjà les impacts du changement climatique dans toutes les régions du Canada.
- Le changement climatique accentuera un grand nombre de risques climatiques actuels et s'accompagnera de nouveaux risques et de nouvelles possibilités, qui auront des conséquences importantes pour les collectivités, les infrastructures et les écosystèmes.
- Les impacts que le changement climatique aura ailleurs dans le monde et les mesures d'adaptation prises pour les contrer auront une incidence sur le comportement des consommateurs canadiens, sur la compétitivité de certaines industries canadiennes et sur les activités du Canada en matière de développement international, d'aide et de maintien de la paix.
- Les impacts des récents phénomènes météorologiques extrêmes mettent en évidence la vulnérabilité des collectivités et des infrastructures essentielles du Canada au changement climatique.
- La capacité d'adaptation au Canada est généralement forte, mais elle est inégalement répartie entre les régions et les populations, ainsi qu'au sein de chacune d'elles.
- Les collectivités tributaires des ressources et les collectivités autochtones sont particulièrement vulnérables au changement climatique. Cette vulnérabilité est amplifiée dans l'Arctique.
- Des initiatives d'adaptation ont déjà été entreprises au Canada en réaction et en préparation aux impacts du changement climatique.
- La prise en considération du changement climatique dans les processus de planification actuels, en ayant souvent recours à des stratégies fondées sur la gestion du risque, constitue une approche efficace de l'adaptation.
- Afin d'abattre les obstacles à l'adaptation, il importe de reconnaître les entraves à la sensibilisation et à l'accès à l'information et aux outils de soutien de la prise de décisions.
- S'il est vrai que des recherches s'imposent pour combler certaines lacunes sur le plan des connaissances et être en mesure de bien planifier l'adaptation, on dispose à l'heure actuelle de suffisamment de connaissances pour mettre en œuvre des stratégies d'adaptation dans la plupart des cas.

INTRODUCTION

On ressent déjà les effets du changement climatique au Canada et dans le monde. Ils se poursuivront pendant de nombreuses décennies peu importe les résultats des efforts d'atténuation déployés à voire même des siècles, l'échelle de la planète pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (atténuation). Aussi, l'adaptation est-elle un complément indispensable de l'atténuation dans la lutte contre le changement climatique (*voir* la figure RS-1). Elle entraîne essentiellement une modification des décisions, des activités et de la façon de penser en fonction du changement climatique constaté ou prévu, afin d'atténuer les dommages qui peuvent en découler et de saisir les nouvelles possibilités qu'il risque d'offrir (*voir* l'encadré RS-1). Dans son quatrième rapport d'évaluation, le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) affirme que, selon toute vraisemblance, ni l'adaptation ni l'atténuation ne pourra à elle seule empêcher le changement climatique d'avoir des impacts importants mais que, ensemble, elles peuvent réduire les risques considérablement. Il met en évidence le fait qu'il n'existe pas de combinaison optimale de mesures d'adaptation et d'atténuation et qu'il ne s'agit pas de faire un choix entre les deux. L'atténuation est nécessaire pour réduire le rythme et l'ampleur du changement climatique, tandis que l'adaptation s'impose si l'on veut limiter les dommages causés par le changement climatique inévitable (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat, 2007; Klein *et al.*, 2007).

Dans le présent rapport l'expression « changement climatique » désigne tout changement du climat avec le temps, qu'il soit induit par des facteurs naturels, l'activité humaine ou les deux. Cet emploi est le même que celui qu'en fait le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, mais il diffère de la définition de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, selon laquelle les changements de climat sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine et viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat. L'expression « climat en évolution » est parfois utilisée dans le rapport pour souligner le fait que ces changements sont continus.

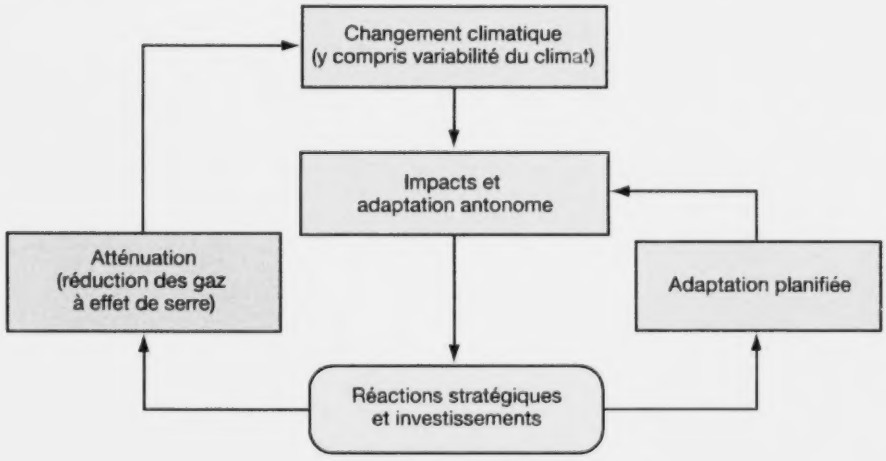


FIGURE RS-1 : Adaptation et atténuation dans le contexte du changement climatique (*extrait modifié tiré de* Smit *et al.*, 1999).

La présente synthèse du rapport *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007* fait des constats au sujet des impacts actuels et futurs du changement climatique au Canada et de la vulnérabilité à ce changement. Elle rend compte aussi bien des mesures d'adaptation auxquelles on a actuellement recours pour réduire les risques et profiter des possibilités associées au changement climatique que de celles auxquelles on pourrait recourir à l'avenir. Afin de cerner avec précision les enjeux auxquels les gouvernements doivent s'attaquer dans leurs politiques et leurs programmes, il faut procéder à des analyses qui débordent le cadre de la présente évaluation scientifique; les conclusions de ce rapport fournissent, par contre, de la matière pour ces analyses détaillées. Le rapport de synthèse est basé sur l'information contenue dans les différents chapitres de l'évaluation, en particulier les chapitres 3 à 8, qui présentent des analyses régionales pour le Nord, le Canada atlantique, le Québec, l'Ontario, les Prairies et la Colombie-Britannique, et le chapitre 9, qui examine les répercussions sur le Canada des développements qui se produisent ailleurs dans le monde sur le plan des impacts climatiques et de l'adaptation. Les principales conclusions relevées dans ces chapitres sont résumées dans l'encadré RS-2. Le reste du rapport consiste en une analyse intégrée de cette information à l'échelle nationale. Dans la mesure du possible, les auteurs établissent des liens entre leurs propres conclusions et les constats du quatrième rapport d'évaluation du GIEC; ils démontrent que mêmes défis auxquels le Canada doit faire face se présentent à d'autres pays et à d'autres régions, et qu'il est possible d'en apprendre beaucoup du moment que l'on est prêt à partager l'expérience acquise en matière d'adaptation.

Le chapitre 2 de l'évaluation contient de l'information sur le changement climatique récent et projeté. Il en va de même des six chapitres régionaux, qui font état des conditions climatiques actuelles, des récentes tendances climatiques et des projections climatiques, et qui servent ainsi d'intrants dans les analyses de la sensibilité et de la vulnérabilité.

ENCADRÉ RS-1

En quoi consiste l'adaptation au changement climatique?

L'adaptation au changement climatique est l'ensemble des activités qui, d'une part, limitent les impacts négatifs de ce changement et, d'autre part, favorisent l'accès aux nouvelles possibilités offertes par ce même changement. On distingue plusieurs types de mesures d'adaptation (*voir* le tableau RS-1). Certaines sont prises avant que les impacts ne soient constatés (mesures préventives) et d'autres, après que les impacts ont été ressentis (mesures réactives; *voir* le tableau RS-1). Ces deux types de mesures peuvent être planifiés (c.-à-d. être le résultat de décisions stratégiques délibérées), tandis que les mesures d'adaptation réactives peuvent également être spontanées. Dans la plupart des situations, les mesures préventives planifiées ont des coûts moins élevés à long terme et sont plus efficaces que les mesures réactives.

Tableau RS-1 : Différents types de mesures d'adaptation (*extrait modifié tiré de* Smit *et al.*, 1999).

ADAPTATION			
Selon	**Type d'adaptation**		
L'intention	Spontanée		Planifiée
L'action (par rapport au stimulus climatique)	Réactive	Simultanée	Préventive
L'étendue temporelle	À court terme		À long terme
L'étendue spatiale	Localisée		Étendue

Habituellement, les mesures d'adaptation ne sont pas prises uniquement en fonction du changement climatique; elles tiennent compte d'un éventail de facteurs et des possibilités de synergies et de conflits. Une mesure d'adaptation, si efficace soit-elle, n'élimine pas nécessairement les impacts négatifs; elle limite seulement la gravité des effets qui auraient pu se produire si aucune mesure d'adaptation n'avait été adoptée. Pour choisir la solution d'adaptation qui convient le mieux à une situation donnée, il faut tenir compte de la faisabilité, de la probabilité et des mécanismes d'adoption.

ENCADRÉ RS-2

RÉSUMÉ DES PRINCIPALES CONCLUSIONS RELEVÉES DANS LES CHAPITRES

NORD DU CANADA (chapitre 3)

- Les niveaux actuels d'exposition et de sensibilité aux changements causés par le climat ainsi que les limites de la capacité d'adaptation rendent certains systèmes et certaines populations du Nord particulièrement vulnérables aux impacts du changement climatique.
- Les changements d'origine climatique qui touchent le pergélisol, la glace de mer, la glace de lac et le couvert nival ont des incidences importantes sur la conception et l'entretien des infrastructures.
- Les variations du climat entraîneront des modifications de la disponibilité, de l'accessibilité et de la qualité des espèces, avec toutes les conséquences que cela peut représenter pour la biodiversité et les populations humaines qui dépendent de ces ressources.
- La plus grande facilité de navigation dans les eaux marines de l'Arctique et l'expansion des réseaux de transport terrestres offriront des possibilités de croissance dans une foule de secteurs de l'économie, mais elles créeront aussi de nombreux défis sur le plan de la culture, de la sécurité et de l'environnement.
- Dans des conditions de climat en évolution, il sera plus difficile de maintenir et de protéger certains aspects des modes de vie traditionnels et des régimes de subsistance dans nombre des collectivités autochtones de l'Arctique.

CANADA ATLANTIQUE (chapitre 4)

- Le changement climatique entraînera une augmentation du nombre et de l'intensité des tempêtes, l'élévation du niveau de la mer, plus d'ondes de tempête, d'érosion côtière et d'inondations qui, toutes, toucheront les collectivités côtières, de même que leurs infrastructures et leurs industries.
- Les ressources en eau seront davantage sollicitées à mesure que changeront les conditions et les besoins en réaction à des facteurs aussi bien climatiques que non climatiques.
- Pour ce qui est des pêches en mer, les répercussions ne se limiteront pas aux espèces de poisson disponibles, mais toucheront également de nombreux aspects du secteur des pêches, dont le transport, la commercialisation, la santé et la sécurité au travail et la santé et le bien-être communautaires.
- Des températures plus élevées et l'allongement des saisons de croissance bénéficieront à l'agriculture et à la foresterie, mais l'augmentation des perturbations et des stress liés au manque d'humidité qui les accompagne constitue une source d'inquiétude.
- Il est possible de réduire la vulnérabilité des collectivités de l'Atlantique par une planification soigneuse, particulièrement dans les régions côtières, et par des efforts d'adaptation visant à limiter l'exposition à l'élévation du niveau de la mer.

QUÉBEC (chapitre 5)

- C'est dans l'Arctique québécois que sont anticipés les plus importants effets du changement climatique pour cette région, aggravant les problèmes actuels liés aux catastrophes le naturelles et aux infrastructures essentielles, et rendant encore plus difficile le maintien des modes de vie traditionnels.
- Les impacts du changement climatique sur l'environnement naturel auront des effets défavorables sur les écosystèmes; les conséquences seront particulièrement lourdes dans les collectivités où les ressources naturelles constituent un élément clé de l'économie. Certains impacts pourraient être bénéfiques à certains secteurs de l'économie, notamment ceux de l'hydroélectricité et de la foresterie.
- Dans la région maritime, on assistera vraisemblablement à une accentuation de l'érosion côtière le long de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, là justement où se situent les principales zones d'activité sociale et économique de la région.
- Dans le sud du Québec, un accroissement de la fréquence, de l'intensité ou de la durée des phénomènes météorologiques extrêmes augmenterait les risques menaçant l'environnement bâti vieillissant, les populations vulnérables et les collectivités vivant dans des zones exposées aux aléas naturels.
- L'adaptation offre de nombreuses pistes de solution permettant de limiter les impacts néfastes du changement climatique. L'économie du savoir de plus en plus diversifiée du Québec confère à cette province une grande capacité d'adaptation. Par ailleurs, les limites et les coûts de l'adaptation sont généralement peu connus, notamment à long terme.

ONTARIO (chapitre 6)

- Partout dans la province, des phénomènes climatiques perturbent des infrastructures essentielles, notamment les systèmes de traitement et de distribution de l'eau, les équipements de production et de distribution d'énergie et les réseaux de transport, et la fréquence de ces perturbations va probablement augmenter dans l'avenir.
- Des pénuries d'eau ont été constatées dans le sud de la province, et on prévoit que leur fréquence augmentera avec la hausse des températures estivales et des taux d'évaporation.
- Les phénomènes climatiques, tels que les conditions extrêmes, les vagues de chaleur, les épisodes de smog ainsi que les changements d'ordre écologique qui favorisent la propagation des maladies à transmission vectorielle présentent tous des risques pour la santé des résidents de l'Ontario.

- Les collectivités éloignées et tributaires des ressources ont gravement souffert de phénomènes d'origine climatique qui ont entraîné des évacuations répétées, perturbé des liens de transport essentiels et mis à rude épreuve les économies fondées sur la forêt. Ces impacts vont probablement augmenter.
- Les écosystèmes de l'Ontario subissent des stress sous l'action conjuguée du changement climatique, de l'activité humaine et des perturbations naturelles.
- L'Ontario jouit d'une forte capacité d'adaptation au changement climatique, cependant, cette capacité n'est pas uniformément répartie au sein des sous-régions ni même entre les secteurs.

PRAIRIES (chapitre 7)

- Une augmentation des pénuries d'eau constitue la menace climatique la plus sérieuse dans les provinces des Prairies.
- Les écosystèmes subiront les conséquences des modifications se manifestant au niveau du bioclimat, des perturbations causées par les insectes et les incendies, des stress exercés sur les habitats aquatiques et de l'implantation d'espèces exotiques; ces conséquences se feront sentir dans les moyens de subsistance et les secteurs économiques qui dépendent des écoservices.
- Les Prairies voient disparaître certains des avantages que leur procuraient les hivers froids. Ces derniers aidaient à restreindre l'étendue des ravageurs et des maladies, à faciliter les travaux entrepris en hiver dans les secteurs de la foresterie et de l'énergie, et à permettre l'accès plus facile aux collectivités éloignées grâce aux chemins d'hiver.
- Les collectivités qui dépendent de l'agriculture et des forêts sont très sensibles à la variabilité et aux extrêmes climatiques. Les projections annoncent une augmentation de la fréquence des épisodes de sécheresse, dont les impacts économiques se calculent parfois en milliards de dollars, des feux de friche et des inondations graves.
- La capacité d'adaptation, bien que forte, est répartie inégalement, de sorte que le degré de vulnérabilité diffère d'une sous-région à l'autre.
- Si les processus d'adaptation ne sont pas bien compris, on sait cependant que les institutions et la société civile joueront un rôle de premier plan dans le renforcement de la capacité d'adaptation en s'inspirant de plusieurs initiative récentes qui augmentent la résilience.

COLOMBIE-BRITANNIQUE (chapitre 8)

- Un bon nombre de régions et de secteurs de la Colombie-Britannique connaîtront de plus en plus des pénuries d'eau et une concurrence croissante entre les diverses utilisations de cette ressource (par exemple, hydroélectricité, irrigation, collectivités, loisirs et normes de débit minimales), ce qui aura des répercussions sur les ententes transfrontalières.
- Les phénomènes météorologiques extrêmes et les catastrophes naturelles qui en découlent ont eu, et d'ailleurs continueront d'avoir, une incidence sur les infrastructures essentielles et touchera les collectivités, les industries et l'environnement.
- En Colombie-Britannique, les forêts, l'industrie forestière et les collectivités qui en dépendent sont particulièrement vulnérables aux risques climatiques, notamment les infestations de ravageurs et les feux de forêt.
- Le changement climatique continuera d'accentuer les stress que subit actuellement le secteur des pêches en Colombie-Britannique. La vulnérabilité de la pêche au saumon du Pacifique se trouve aggravée par le fait que ces espèces revêtent pour certains une importance sociale, économique et écologique unique.
- Le changement climatique aura un effet à la fois positif et négatif sur le secteur agricole de la Colombie-Britannique; l'augmentation de la fréquence et de la durée des épisodes de sécheresse constitue le risque le plus important.
- La prise en considération de l'adaptation au changement climatique dans le processus décisionnel permet d'augmenter la résilience et de réduire les coûts et les impacts à long terme liés au changement climatique.

LE CANADA DANS LE MONDE (chapitre 9)

- Le changement climatique touche déjà les populations, les économies et les environnements de toutes les régions du monde. On prévoit que ces impacts, défavorables pour la plupart, et surtout reliés aux phénomènes météorologiques extrêmes et aux changements constatés dans les ressources hydriques, vont se poursuivre et s'intensifier.
- Les maladies qui sévissent actuellement sous les climats plus chauds constitueront une menace de plus en plus sérieuse au Canada en raison de la plus forte incidence de maladies et de vecteurs dans des pays qui entretiennent des liens de commerce et de voyage avec le Canada.
- Les impacts du changement climatique et les mesures d'adaptation mises en œuvre pour les contrer ailleurs dans le monde peuvent toucher le Canada de diverses manières et avec des conséquences importantes sur plusieurs plans, notamment sur ceux de la compétitivité, de la santé, du tourisme, du secours aux sinistrés, de l'aide au développement et du maintien de la paix.
- À titre de pays développé, le Canada sera de plus en plus sollicité pour porter secours aux sinistrés et pour aider des pays en développement à s'adapter au changement climatique.

IMPACTS

On constate déjà les impacts du changement climatique dans toutes les régions du Canada.

Le changement climatique a des impacts sur un grand nombre de systèmes physiques et biologiques, comme le couvert glaciel et nival, le niveau des cours d'eau, des lacs et des mers, et la répartition des espèces végétales et animales. Ces changements sont sans équivoque (*voir* le tableau RS-2) et ont d'ailleurs été documentés dans d'autres évaluations récentes du changement climatique (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat, 2001, 2007; Arctic Climate Impact Assessment, 2005). En outre, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur, des feux de forêt, des crues causées par les ondes de tempête, de l'érosion côtière et d'autres aléas climatiques s'accorde avec les tendances climatiques constatées. Un grand nombre de ces impacts se répercute directement sur les systèmes humains. Par exemple, la réduction de l'épaisseur et de la durée de la glace de lac et de rivière a un effet important sur la durabilité de nombreux chemins d'hiver qui donnent accès aux collectivités éloignées et aux chantiers miniers dans le nord du Canada (y compris dans la partie septentrionale de plusieurs provinces; *voir* les chapitres 3, 5, 6 et 7), alors que l'érosion côtière menace des bâtiments, des infrastructures essentielles et des sites culturels sur toutes les côtes marines du Canada (*voir* les chapitres 3, 4, 5 et 8).

Les données attestent que le changement climatique contribue à créer d'autres problèmes environnementaux, sociaux et économiques, comme l'épidémie sans précédent de dendroctone du pin ponderosa en Colombie-Britannique, qui, en 2006, s'étendait sur plus de 9,2 millions d'hectares de forêt et qui, dans sa progression vers l'est, a maintenant pénétré en Alberta. S'il est vrai que la suppression des feux de forêt et d'autres facteurs historiques ont contribué à cette épidémie, la tendance dominante au réchauffement des étés, qui favorise la reproduction de cet insecte, et à l'adoucissement des hivers, qui favorise la survie des larves, a joué un rôle déterminant (*voir* la figure RS-2 et le chapitre 8). L'invasion de la laitue de mer, qui, depuis 1990, rend les estuaires moins propices aux mollusques ou aux poissons et moins intéressants pour les résidents et les touristes dans certaines parties du Canada atlantique, constitue un autre exemple. La prolifération de cette algue a été attribuée en partie à une réduction d'origine climatique des apports d'eau douce estivaux (*voir* le chapitre 4).

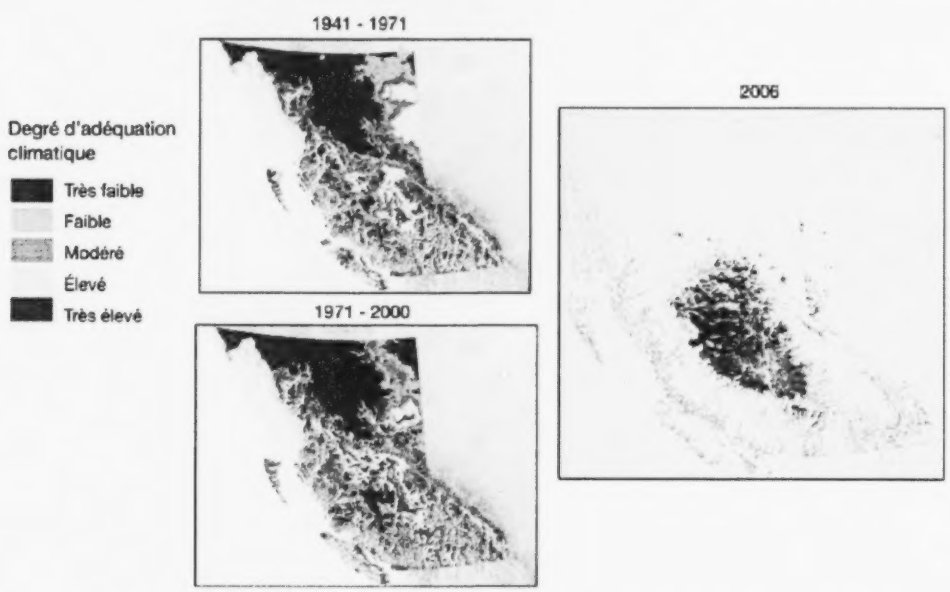
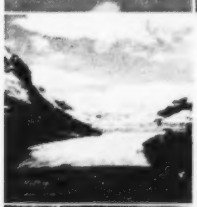
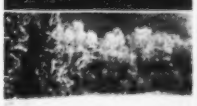
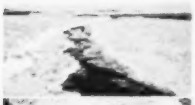
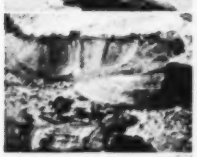
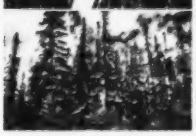


FIGURE RS-2 : ***À gauche :*** Répartitions passées des habitats de la Colombie-Britannique dont le climat convient au dendroctone du pin ponderosa (DPP; *extrait modifié tiré de* Carroll *et al.*, 2004). Les régions où le degré d'adéquation climatique est « très faible » sont considérées comme non propices au DPP, tandis que les régions où il est « très élevé » sont celles qui présentent des conditions climatiques optimales. ***À droite :*** Superficie totale touchée par le dendroctone du pin ponderosa dans la Colombie-Britannique, en 2006 (Ressources naturelles Canada, 2007).

TABLEAU RS-2 : Certains impacts constatés du changement climatique touchant les systèmes physiques et biologiques au Canada.

	Systèmes et nature des impacts	Exemples	Chapitres pertinents
	**Glaciers** – masse et superficie; réduction étendue avec variabilité par endroits	• recul général depuis la fin des années 1800 dans l'ouest du Canada, depuis les années 1920 dans l'Arctique • en Colombie-Britannique, la vitesse de recul des glaciers est la plus élevée depuis 8 000 ans • perte estimée de masse de glace dans l'Arctique canadien : 25 km^3/a entre 1995 et 2000	3, 7, 8 et 9
	**Couvert nival** – réduction de l'étendue et de la durée annuelles	• diminution de 10 p. 100 de l'étendue dans l'hémisphère nord entre 1972 et 2003 • diminution de 20 jours de la durée du couvert nival dans l'Arctique depuis 1950	2, 3 et 5
	**Glace de mer, de lac et de cours d'eau** – réduction de l'étendue et de la durée	• diminution de 3 p. 100 par décennie de la superficie moyenne annuelle de la glace de mer dans l'hémisphère nord entre 1978 et 2003 • réduction de 1 à 2 mois de la durée du couvert glaciel des Grands Lacs depuis 150 ans	2, 3, 4, 5 et 6
	**État du pergélisol** – augmentation de la température et de l'épaisseur du mollisol	• réchauffement le plus prononcé dans l'ouest de l'Arctique • augmentation d'au moins 1°C de la température superficielle du pergélisol depuis 1990 dans le nord du Québec • augmentation de l'épaisseur du mollisol dans les années 1990	2, 3, 5 et 7
	Niveaux des cours d'eau et des lacs – variation des niveaux d'eau et des périodes de débit de pointe	• diminution du ruissellement en été et à l'automne dans les Prairies, responsable des niveaux d'eau plus bas des rivières et des lacs à ces moments • ruissellement printanier généralement précoce	2, 5, 6, 7, 8 et 9
	Phénologie des plantes – événements qui se manifestent plus tôt	• printemps phénologique survenant 26 jours plus tôt qu'il y a un siècle en Alberta • printemps phénologique survenant cinq ou six jours plus tôt depuis environ 1959 dans l'est de l'Amérique du Nord	2, 4, 5, 6 et 7
	**Productivité des végétaux** – allongement de la saison de croissance et augmentation de la productivité	• productivité accrue de l'épinette et du peuplier au Québec • allongement de la saison de croissance des cultures	5
	Répartition de certaines espèces animales – remontée des écosystèmes terrestres en latitude ou en altitude, déplacements vers des régimes thermiques plus chauds dans les écosystèmes d'eau douce	• augmentation de l'abondance des espèces de poissons d'eaux chaudes et tempérées par rapport aux espèces d'eaux froides	3 et 6
	Érosion côtière – s'accentue sous l'effet de la réduction du couvert glaciel, de l'élévation du niveau de la mer, de l'augmentation de la fréquences des tempêtes, et de facteurs non climatiques	• érosion et dégradation accélérées des dunes et du littoral dans le golfe du Saint-Laurent, le nord-est de l'Île-du-Prince-Édouard, le sud-ouest, l'ouest et l'est de Terre-Neuve	3, 4, 5 et 8

Photos gracieuseté de : *pour toutes les images, Ressources naturelles Canada, sauf : celle des glaciers prise par Ben W. Bell, celles de la glace de mer, de lac et de cours d'eau provenant d'Environnement Canada, et celles illustrant la répartition de certaines espèces animales, fournies par le gouvernement du Yukon.*

Le changement climatique accentuera un grand nombre de risques climatiques actuels et s'accompagnera de nouveaux risques et de nouvelles possibilités, qui auront des conséquences importantes pour les collectivités, l'industrie, les infrastructures et les écosystèmes.

Le changement climatique se manifeste par des variations des conditions moyennes, une augmentation de la variabilité climatique et une augmentation de l'intensité et de la fréquence des phénomènes climatiques extrêmes. Dans bien des cas, les impacts les plus graves et les plus coûteux seront attribuables à l'augmentation projetée de la fréquence et de l'ampleur des phénomènes climatiques extrêmes et des désastres naturels qui y sont associés, notamment les crues causées par de fortes précipitations et des ondes de tempête, les tempêtes de verglas et de vent, les vagues de chaleur et les sécheresses (*voir* les chapitres 2 à 9). La connaissance des conditions extrêmes qui caractériseront le climat de demain joue un rôle particulièrement important dans la conception et l'entretien des infrastructures, la préparation aux situations d'urgence ainsi que la santé et la sécurité des collectivités (*voir* les chapitres 5 et 6).

Les variations graduelles des températures moyennes, des précipitations et des niveaux marins ont également une incidence sur la durabilité des collectivités et des écosystèmes. Au Canada, certains des impacts les plus importants et les plus susceptibles de se faire sentir seront liés aux ressources hydriques. Les superficies soumises à des stress d'origine hydrique augmenteront en raison de la diminution du ruissellement causée, à plusieurs endroits, par les variations dans le régime de précipitations et l'augmentation de l'évapotranspiration (*voir* le chapitre 2), tandis que toutes les régions du Canada seront touchées par une réduction saisonnière de la qualité et de la quantité de l'eau (*voir* les chapitres 3 à 8). L'augmentation de la consommation d'eau aux fins d'agriculture, de production d'énergie, d'usage des collectivités et des loisirs exigera que l'on gère cette ressource de façon à tenir compte des besoins des écosystèmes (*voir* les chapitres 4 à 8). En plus d'accentuer les impacts qui se produisent déjà, le changement climatique fera apparaître de nouveaux risques dans certaines régions, comme l'introduction de maladies à transmission vectorielle dans des régions où les conditions climatiques actuelles interdisent la survie du vecteur (*voir* les chapitres 5, 6 et 9). Les répercussions du changement climatique sur les écosystèmes seront telles qu'elles présenteront un défi de taille à la gestion des aires protégées (*voir* les chapitres 6, 7 et 8).

Le changement climatique créera également des possibilités nouvelles. Par exemple, un allongement et un réchauffement des saisons de croissance pourraient augmenter la productivité des cultures et permettre de cultiver de nouvelles espèces végétales peut-être plus rentables (*voir* les chapitres 4 à 8). Les secteurs agricole et forestier du Canada sont sensibles aux changements survenant dans les régimes de perturbation et à l'augmentation de la fréquence des sécheresses, phénomène qui fait ressortir la nécessité de mettre rapidement en place des mesures d'adaptation efficaces (*voir* les chapitres 7 et 8). La réduction du couvert glaciel des mers, des cours d'eau et des lacs allonge la saison de navigation, quoiqu'une diminution des niveaux d'eau dans les lacs et les rivières pourrait avoir un effet défavorable sur le transport (*voir* les chapitres 3, 4 et 6). Une augmentation du transport maritime dans l'Arctique offrirait des possibilités de croissance économique en même temps qu'elle ferait croître les risques pour l'environnement et la sécurité (*voir* le chapitre 3).

Les impacts seront cumulatifs et, fréquemment, synergiques (*voir* la figure RS-3). Par exemple, l'augmentation de la fréquence et de l'ampleur des vagues de chaleur entraînera une hausse de la demande d'électricité en période de pointe aux fins de climatisation, alors qu'une réduction du volume des eaux de ruissellement en provenance des glaciers de montagne de l'ouest du Canada et un abaissement des niveaux d'eau dans les Grands Lacs réduiront probablement le potentiel de production d'hydroélectricité dans ces régions. Combiné à la hausse prévue de la demande d'électricité en raison de la croissance démographique et économique, le changement climatique risque de faire augmenter le nombre de pannes de courant et de creux de tension (*voir* les chapitres 6 et 8). Étant donné que les impacts sont cumulatifs et entraînent une cascade d'incertitudes, il est probable que le changement climatique créera des « surprises », c'est-à-dire que l'on franchira des seuils critiques qui n'auront pas été prévus. Comme dans le cas de tous les systèmes naturels humains et gérés, l'adaptation peut contribuer à réduire l'ampleur des impacts.

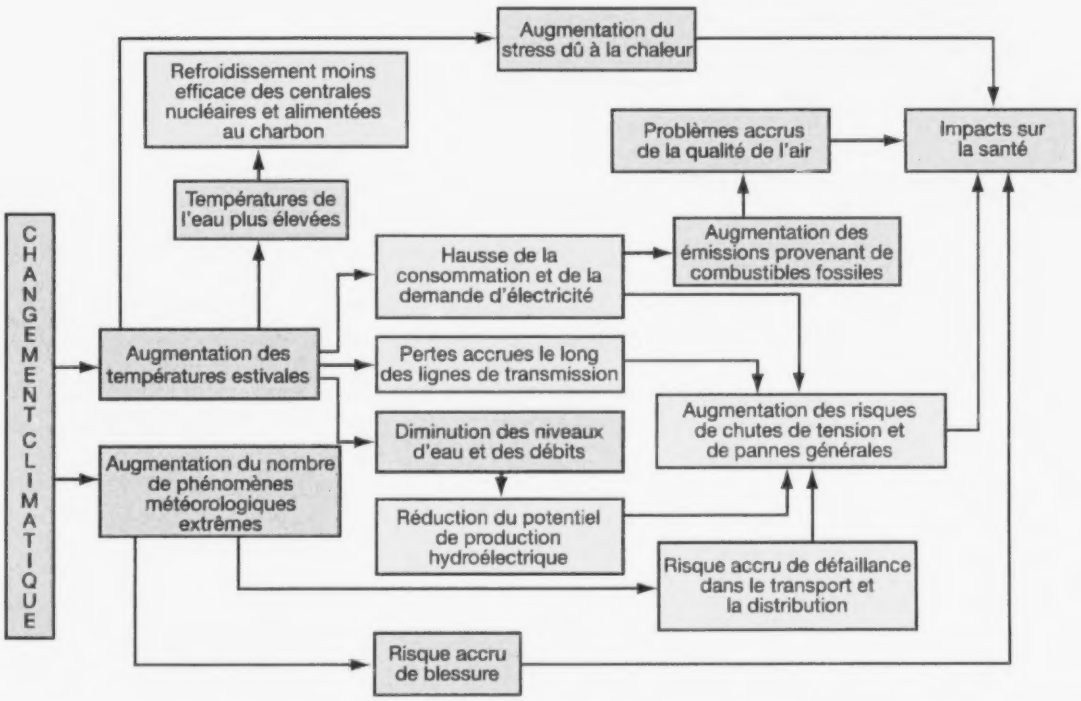


FIGURE RS-3 : Illustration des effets cumulatifs et synergiques possibles du changement climatique à l'aide d'un exemple montrant comment les impacts sur le secteur de l'énergie peuvent amplifier les effets directs du changement climatique sur la santé humaine.

Les impacts que le changement climatique aura ailleurs dans le monde et les mesures d'adaptation prises pour les contrer auront une incidence sur le comportement des consommateurs canadiens, sur la compétitivité de certaines industries canadiennes et sur les activités du Canada en matière de développement international, d'aide et de maintien de la paix.

Le coût économique net des impacts du changement climatique au Canada dépendra dans une large mesure des impacts qui se produiront ailleurs dans le monde et de leurs répercussions sur la dynamique de l'offre et de la demande et sur la compétitivité de certaines industries canadiennes. Même si, par exemple, la productivité forestière au Canada accusait une hausse, des gains de productivité encore plus importants dans d'autres pays pourraient avoir un effet à la baisse sur les prix mondiaux des produits forestiers et réduire la part de marché des producteurs canadiens (*voir* le chapitre 9). Sur le plan touristique, le changement climatique pourrait réduire l'attrait de certains espaces naturels du Canada (*voir* les chapitres 3,4, 5, 7 et 8). Envisagé dans un contexte mondial, cependant, le tourisme au Canada sera vraisemblablement avantagé par le changement climatique, étant donné que des températures plus chaudes et des hivers plus cléments feraient du Canada une destination plus intéressante pour les touristes et inciteraient un plus grand nombre de Canadiens à renoncer à des vacances dans le Sud (*voir* le chapitre 9).

Le changement climatique qui se produit ailleurs dans le monde aura également une influence sur les activités humanitaires du Canada. En plus d'aider les pays en développement à s'adapter au changement climatique, le Canada sera davantage appelé à participer à des opérations de secours aux sinistrés. On constate que les tendances à la hausse de la fréquence des catastrophes imputables à des phénomènes climatiques extrêmes de plus en plus intenses devraient se poursuivre (*voir* la figure RS-4). Les stress environnementaux et les problèmes de rareté (de la nourriture et de l'eau principalement) causés par le changement climatique pourront aggraver les tensions politiques, sociales, économiques, ethniques, religieuses ou territoriales, causer de l'instabilité politique et entraîner des déplacements de populations (*voir* le chapitre 9).

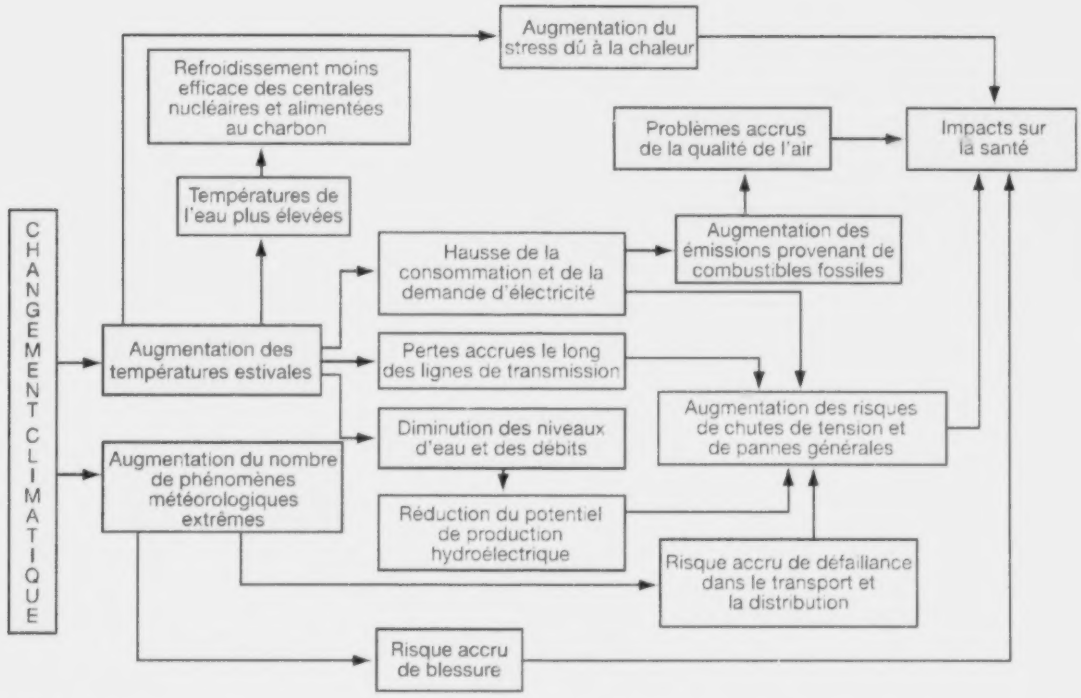


FIGURE RS-3 : Illustration des effets cumulatifs et synergiques possibles du changement climatique à l'aide d'un exemple montrant comment les impacts sur le secteur de l'énergie peuvent amplifier les effets directs du changement climatique sur la santé humaine.

Les impacts que le changement climatique aura ailleurs dans le monde et les mesures d'adaptation prises pour les contrer auront une incidence sur le comportement des consommateurs canadiens, sur la compétitivité de certaines industries canadiennes et sur les activités du Canada en matière de développement international, d'aide et de maintien de la paix.

Le coût économique net des impacts du changement climatique au Canada dépendra dans une large mesure des impacts qui se produiront ailleurs dans le monde et de leurs répercussions sur la dynamique de l'offre et de la demande et sur la compétitivité de certaines industries canadiennes. Même si, par exemple, la productivité forestière au Canada accusait une hausse, des gains de productivité encore plus importants dans d'autres pays pourraient avoir un effet à la baisse sur les prix mondiaux des produits forestiers et réduire la part de marché des producteurs canadiens (*voir* le chapitre 9). Sur le plan touristique, le changement climatique pourrait réduire l'attrait de certains espaces naturels du Canada (*voir* les chapitres 3,4, 5, 7 et 8). Envisagé dans un contexte mondial, cependant, le tourisme au Canada sera vraisemblablement avantagé par le changement climatique, étant donné que des températures plus chaudes et des hivers plus cléments feraient du Canada une destination plus intéressante pour les touristes et inciteraient un plus grand nombre de Canadiens à renoncer à des vacances dans le Sud (*voir* le chapitre 9).

Le changement climatique qui se produit ailleurs dans le monde aura également une influence sur les activités humanitaires du Canada. En plus d'aider les pays en développement à s'adapter au changement climatique, le Canada sera davantage appelé à participer à des opérations de secours aux sinistrés. On constate que les tendances à la hausse de la fréquence des catastrophes imputables à des phénomènes climatiques extrêmes de plus en plus intenses devraient se poursuivre (*voir* la figure RS-4). Les stress environnementaux et les problèmes de rareté (de la nourriture et de l'eau principalement) causés par le changement climatique pourront aggraver les tensions politiques, sociales, économiques, ethniques, religieuses ou territoriales, causer de l'instabilité politique et entraîner des déplacements de populations (*voir* le chapitre 9).

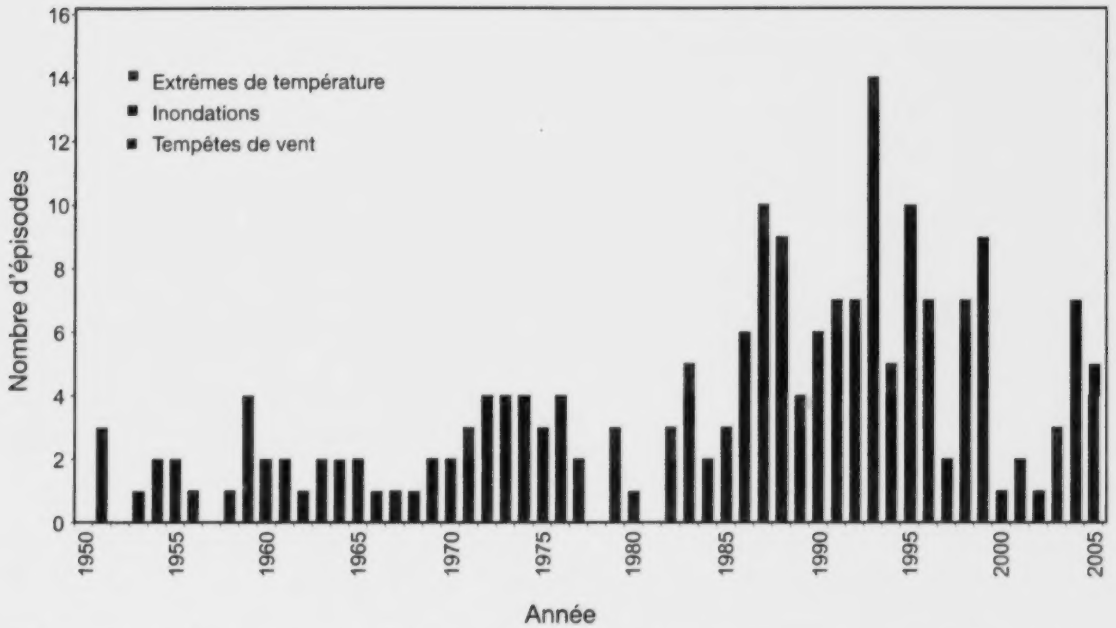


FIGURE RS-4 : Nombre de désastres naturels imputables au climat survenus à l'échelle planétaire entre 1950 et 2006, par type d'épisode climatique (*données tirées de* Munich Reinsurance, 2006).

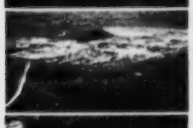
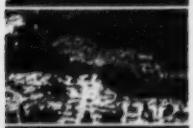
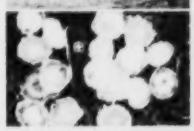
VULNÉRABILITÉ

Les impacts des récents phénomènes météorologiques extrêmes mettent en évidence la vulnérabilité des collectivités et des infrastructures essentielles du Canada au changement climatique.

Les aléas météorologiques ont causé plus de dommages durant la dernière décennie (depuis 1996) qu'au cours de toutes les années antérieures combinées. Partout dans le sud du Canada, les inondations, les vents, les tempêtes de grêle et de verglas, les ouragans, les tornades et les feux de friche causent des dommages matériels et des perturbations dans la production des biens et des services dont les coûts se calculent en centaines de millions, voire en milliards, de dollars (*voir* le tableau RS-3). Les longues périodes de conditions météorologiques anormales, comme les sécheresses, peuvent également entraîner des coûts économiques élevés. Six parmi les dix désastres les plus coûteux de l'histoire canadienne ont été des sécheresses (Sécurité publique Canada, 2005). Celle de 2001-2002 a fait chuter d'environ 5,8 milliards de dollars le produit intérieur brut du Canada et causé plus de 41 000 pertes d'emploi (*voir* le chapitre 7). Il n'est évidemment pas possible d'attribuer tel ou tel événement météorologique au changement climatique, mais ces coûts illustrent bien la vulnérabilité des collectivités et des infrastructures canadiennes au changement climatique. Leur vulnérabilité va probablement s'accentuer, car les projections des modèles climatiques prévoient une augmentation de la fréquence et de l'ampleur de plusieurs types de conditions extrêmes (*voir* les chapitres 2 et 9).

Les phénomènes météorologiques extrêmes touchent la santé et le bien-être des Canadiens dans la mesure où ils entraînent des pertes d'emploi et de biens, des déplacements, des blessures physiques et des maladies, des troubles psychologiques et des pertes de vie. La tempête de verglas de 1998 a occasionné 945 blessures, et les feux de friche en Colombie-Britannique et en Alberta, en 2003, ont entraîné le déplacement de quelque 45 000 personnes; il s'agit là de chiffres record pour des désastres naturels au Canada (*voir* le tableau RS-3). De fortes précipitations après une période de sécheresse ont contribué à l'épidémie de *E. coli* survenue à Walkerton, en Ontario, en 2000, qui a fait sept victimes et rendu malades des milliers de personnes (*voir* le chapitre 6).

TABLEAU RS-3 : Phénomènes d'ordre météorologique (à l'exception des sécheresses) qui se sont produits récemment et qui ont été très coûteux (*tiré de* Sécurité publique Canada, 2005; Environnement Canada 2005; BC Provincial Government, 2003).

	Événement et date	Région	Coûts estimés	Décès	Blessures	Évacuations	Chapitres pertinents
	Tempête de verglas, 1998	Ontario, Québec, Canada atlantique	5,4 milliards $	28	945	17 800	2, 4, 5, 6
	Inondation du Saguenay, 1996	Québec	1,7 milliard $	10	0	15 825	2, 5
	Tempête de grêle à Calgary, 1991	Prairies	884 millions $	0	0	0	2, 7
	**Crue de la rivière Rouge**, 1997	Prairies	817 millions $	0	0	25 447	2, 7
	**Feux de friche en Colombie-Britannique et en Alberta**, 2003	Colombie-Britannique	700 millions $	3	chiffre inconnu	45 000	7, 8
	Pluies extrêmes à Toronto, 2005	Ontario	>500 millions $	0	0	0	6
	Inondations dans le sud de l'Alberta, 2005	Prairies	>400 millions $	4	chiffre inconnu	>2000	7
	**Tempête de grêle à Calgary**, 1996	Prairies	305 millions $	0	0	0	2, 7
	Ouragan Juan, 2003	Canada atlantique	200 millions $	8	chiffre inconnu	chiffre inconnu	2, 4

Photos gracieuseté de : Bibliothèque et Archives Canada, Environnement Canada, Ressources naturelles Canada, Julian Brimelow et Sam Javanrouh.

La capacité d'adaptation au Canada est généralement forte, mais elle est inégalement répartie entre les régions et les populations, ainsi qu'au sein de chacune d'elles.

Pays prospère avec une population très scolarisée, une technologie accessible et des institutions solides et efficaces, le Canada réunit toutes les conditions nécessaires pour s'adapter au changement climatique (*voir* le chapitre 10). Cependant, la capacité d'adaptation varie considérablement d'une sous-région ou d'un groupe de population à l'autre, d'où une vulnérabilité variable au changement climatique (*voir* l'encadré RS-3). En fait, le quatrième rapport d'évaluation du GIEC a conclu que, dans toutes les régions du monde, peu importe le degré de prospérité, certaines sous-régions, certains secteurs et certaines collectivités sont plus vulnérables que d'autres au changement climatique (Wilbanks *et al.*, 2007).

ENCADRÉ RS-3

Vulnérabilité et capacité d'adaptation

La vulnérabilité au changement climatique « détermine dans quelle mesure un système est touché, sans pouvoir se défendre, par les effets néfastes du changement climatique, y compris la variabilité et les extrêmes climatiques » (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007, p. 21 [traduction]). Trois facteurs déterminent la vulnérabilité d'un système : 1) la nature des variations climatiques auxquelles il est exposé; 2) sa sensibilité au climat; 3) sa capacité de s'adapter au changement des conditions climatiques. Ainsi, un secteur, une collectivité ou une population peut être exposé à des variations climatiques importantes, mais il n'est considéré comme vulnérable que si ce changement pouvait avoir sur lui des impacts négatifs considérables et s'il n'a pas la capacité d'avoir recours à des mesures d'adaptation susceptibles de réduire ces impacts sensiblement.

Les recherches effectuées jusqu'à présent ont visé en grande partie à prévoir l'ampleur et le rythme des changements climatiques et à comprendre les relations entre le climat et les systèmes biophysiques, mais la caractérisation de la capacité d'adaptation est un domaine d'étude relativement nouveau. La capacité d'adaptation subit l'influence d'un certain nombre de facteurs géographiques, sociaux, économiques et institutionnels qui la limitent ou la favorisent.

Au Canada, les grands secteurs de l'économie font preuve d'une grande variabilité en ce qui concerne leur sensibilité au climat. Parmi les secteurs les plus sensibles figurent ceux qui dépendent des ressources naturelles renouvelables, notamment l'agriculture, les pêches, la foresterie et la production alimentaire non commerciale, ainsi que plusieurs aspects de l'industrie récréotouristique. La capacité d'adaptation, elle aussi, varie largement entre les secteurs, les collectivités et les populations. L'évaluation de la vulnérabilité doit tenir compte de la variabilité de tous ces facteurs.

Comme la vulnérabilité définit dans quelle mesure un système est susceptible de subir des impacts négatifs, elle fait abstraction des avantages qui pourraient découler d'un climat en évolution. Cependant, la capacité de saisir les possibilités offertes par le changement climatique est également fonction de la capacité d'adaptation. Finalement, même là où la vulnérabilité est jugée relativement faible en raison d'une forte capacité d'adaptation, elle pourrait subir des impacts négatifs majeurs si on ne met pas en œuvre des mesures d'adaptation appropriées. Beaucoup de sociétés ont beau avoir une forte capacité d'adaptation et des ressources financières adéquates, malgré tout, elles n'ont pas pris de mesures efficaces pour s'adapter au changement, à la variabilité et aux extrêmes climatiques (Adger *et al.*, 2007; Field *et al.*, 2007).

Au Canada, on observe des différences de capacité d'adaptation et de perception du risque que présente le changement climatiques entre les centres urbains et les collectivités rurales ou éloignées (*voir* les chapitres 4 à 7). Ces deux types de milieux présentent des caractéristiques qui favorisent ou limitent la capacité d'adaptation (*voir* le tableau RS-4). Les villes sont un milieu riche en ressources financières où l'on trouve généralement un plus haut taux de scolarisation et plus de compétences et où l'accès aux technologies et aux institutions est plus aisé. Par contre, la population est davantage dépendante des infrastructures essentielles (énergie, transport et eau), elle est aux prises avec des stress thermiques et des problèmes de qualité de l'air plus graves et compte un plus grand nombre de gens pauvres et âgés. En conséquence, les centres urbains sont plus vulnérables sur certains plans que la plupart des collectivités rurales (*voir* les chapitres 5 et 6). Dans le nord du Canada, la capacité d'adaptation est limitée par un certain nombre de facteurs uniques : large dispersion de la population, gouvernance et institutions en évolution, importance de l'économie de subsistance (*voir* le chapitre 3). Parmi les différents groupes de population, les pauvres, les personnes âgées, les immigrants installés récemment et les Autochtones sont généralement plus vulnérables au changement climatique, car leur capacité d'adaptation est le plus souvent limitée par un ou plusieurs des facteurs suivants : ressources financières limitées, problèmes de santé et difficultés d'accès aux technologies et aux services institutionnels (*voir* les chapitres 2 à 9).

Les collectivités tributaires des ressources et les collectivités autochtones sont particulièrement vulnérables aux changements climatiques. Cette vulnérabilité est amplifiée dans l'Arctique.

L'agriculture, la foresterie, la pêche et la chasse ont une importance vitale pour le bien-être économique d'un grand nombre de sous-régions et de collectivités où la mise en valeur des terres et des ressources demeure un pilier de la vie économique. À l'échelle du Canada, plus de 1 600 collectivités tirent 30 p. 100 ou plus de leurs revenus d'emploi de ces secteurs d'activité. Les impacts économiques du changement climatique sont parfois très importants à l'échelle des collectivités (*voir* le chapitre 2). La vulnérabilité des collectivités tributaires des ressources au changement climatique s'explique par plusieurs

TABLEAU RS-4 : Différences générales de capacité d'adaptation entre les collectivités urbaines et rurales susceptibles d'avoir une incidence sur leur vulnérabilité respective au changement climatique (il est à noter qu'elles ne s'appliquent pas dans tous les cas; *voir* les chapitres 3, 6, 7 et 8).

CENTRES URBAINS	COLLECTIVITÉS RURALES
Avantages	**Avantages**
• Accès aux ressources financières • Économies diversifiées • Accès plus aisé aux services (p. ex., soins de santé, services sociaux, éducation) • Forte scolarisation • Solide capacité d'intervention en cas d'urgence • Institutions très développées	• Solide capital social • Solides réseaux sociaux • Fort attachement à la collectivité • Solides connaissances traditionnelles et locales • Fort taux de bénévolat
Limites	**Limites**
• Coût de la vie élevé • Problèmes de qualité de l'air et de chaleur plus graves • Manque de connaissances sur les impacts du changement climatique et les questions d'adaptation • Forte dépendance à l'égard d'infrastructures essentielles mais vieillissantes • Le chevauchement des compétences peut rendre le processus de prise de décisions plus compliqué	• Ressources économiques limitées • Économies moins diversifiées • Plus forte dépendance à l'égard des secteurs des ressources naturelles • Isolement et accès limité aux services • Plus faible pourcentage de la population doté d'une formation technique

facteurs : forte sensibilité au climat d'un grand nombre d'industries basées sur les ressources naturelles, diversification économique moindre et accès plus limité aux services (*voir* les chapitres 2 à 8).

Les collectivités autochtones, qui entretiennent souvent des liens étroits avec la terre pour des raisons de bien-être économique et culturel, sont elles aussi particulièrement vulnérables au changement climatique (*voir* les chapitres 3 à 8). L'économie de subsistance peut représenter jusqu'à 50 p. 100 de leur revenu total (*voir* le chapitre 2). Leur vulnérabilité est amplifiée dans l'Arctique, où le réchauffement climatique est plus rapide que partout ailleurs dans le monde, et l'on prévoit que ce phénomène devrait se poursuivre. Les variations de l'état du couvert glaciel et nival, et leurs impacts sur les écosystèmes, ont une incidence sur l'accès aux sources de nourriture traditionnelles, alors que la dégradation du pergélisol et l'érosion côtière touchent les infrastructures collectives (*voir* les chapitres 3 et 5). La capacité d'adaptation de nombreuses collectivités autochtones diminue sous l'effet de rajustements sociaux, culturels, politiques et économiques en réaction à divers stress qu'elles subissent (*voir* le chapitre 3). Le changement climatique aura inévitablement des impacts considérables sur les modes de vie traditionnels (*voir* les chapitres 3, 4, 5, 7 et 8).

ADAPTATION

Des initiatives d'adaptation ont déjà été entreprises au Canada en réaction et en préparation aux impacts du changement climatique.

Les chapitres régionaux du présent rapport d'évaluation indiquent que des initiatives d'adaptation ont été entreprises au Canada, à l'échelle des particuliers, des groupes communautaires, de l'industrie et du gouvernement (*voir* les exemples au tableau RS-5). Dans plusieurs cas, elles consistent à adopter des mesures ou des stratégies informelles en réaction à des événements ou à des situations particulières, au gré des besoins et des ressources disponibles (*voir* les chapitres 4, 6, 8 et 10). On relève également des exemples d'initiatives d'adaptation plus structurées, comme la Politique de protection des zones côtières pour le Nouveau-Brunswick (*voir* le chapitre 4) et l'initiative forestière (Future Forests Ecosystem Initiative) de la Colombie-Britannique (*voir* le chapitre 8).

Plusieurs initiatives d'adaptation gèrent des risques actuels et tiennent compte des impacts probables du changement climatique à venir. Cette approche est utilisée, par exemple, pour la construction de la plupart des infrastructures

TABLEAU RS-5 : Exemples d'initiatives d'adaptation prises au Canada par des particuliers, des groupes communautaires, l'industrie et le gouvernement.

Acteur	Exemple	Chapitre
Particuliers	• les résidents du Nord font usage plus fréquemment de produits insectifuges et de moustiquaires pour se protéger contre les proliférations d'insectes;	3
	• dans l'Arctique, les chasseurs utilisent davantage des récepteurs GPS pour faciliter la navigation dans des conditions météo imprévisibles ou difficiles;	3
	• maisons et chalets sont construits plus loin de la côte;	4
	• échaudés récemment par des conditions météorologiques inclémentes, les résidents des collectivités côtières éloignées prennent des mesures pour mieux se préparer à des interruptions de services (par ex., électricité, alimentation, transport);	8
Groupes communautaires et organisations	• la collectivité d'Arctic Bay, au Nunavut, a déplacé une partie de son quota de narvals du printemps vers l'été afin de réduire les risques associés à la débâcle et augmenter les chances de succès de la chasse;	3
	• les résidents de Pointe-du-Chêne, au Nouveau-Brunswick, ont aménagé un abri d'urgence en raison de l'augmentation des risques d'inondation et exercé des pressions sur leurs élus pour avoir des chemins d'accès moins vulnérables;	4
	• un groupe communautaire d'Annapolis Royal, en Nouvelle-Écosse, a fait dresser une carte des risques d'ondes de tempête et révisé leurs mesures d'urgence en conséquence;	4
Industrie	• dans plusieurs grands projets de construction d'infrastructures dans le Nord, on emploie des thermosiphons pour refroidir artificiellement le pergélisol dans des conditions de réchauffement climatique;	3
	• des producteurs agricoles souscrivent une assurance-récolte pour compenser les pertes causées par le temps inclément;	6, 7, 8
	• certaines entreprises forestières ont commencé à équiper leurs véhicules de pneus à haute flottaison pour mieux manœuvrer sur des terrains mouillés ou détrempés, ce qui leur permet de travailler dans toutes sortes de conditions météorologiques;	7
	• dans le centre de la Colombie-Britannique, l'industrie forestière s'efforce d'extraire autant de bois marchand que possible des forêts attaquées par le dendroctone du pin ponderosa. Elle tente également de trouver des débouchés aux arbres morts;	8
Gouvernements	• les municipalités le long de la Cote Nord du Québec ont introduit des règlements limitant le développement dans les zones vulnérables à l'érosion des berges et aux inondations;	5
	• à Westbank, en Colombie-Britannique, on tient compte du changement climatique dans un plan de gestion de l'eau (Trepanier Landscape Unit Water Management Plan);	8
	• dans la ville de Vanderhoof, la Colombie-Britannique collabore avec le Service canadien des forêts à un projet pilote d'évaluation de la sensibilité qui vise notamment à faciliter la planification de l'adaptation au changement climatique;	8
	• des compteurs d'eau ont été installés dans le district d'irrigation de Southeast Kelowna et dans plusieurs villes canadiennes (p. ex., Kelowna, en Colombie-Britannique, Sudbury, en Ontario, et Moncton, au Nouveau-Brunswick, afin de réduire la consommation d'eau);	4, 6, 8
	• la municipalité de Regina, en Saskatchewan, a accentué ses efforts pour économiser l'eau;	7
	• des systèmes d'alerte au smog et d'avertissement de chaleur accablante ont été mis en place à Toronto (Ontario) et Montréal (Québec);	5, 6
	• le district régional du Grand Vancouver tient compte des impacts de la réduction de l'accumulation annuelle de neige sur l'approvisionnement en eau pour planifier la capacité de stockage et les améliorations possibles;	8
	• Terre-Neuve examine en profondeur ses pratiques de gestion en cas d'urgence et ses mécanismes d'intervention;	4
	• au Nouveau-Brunswick, la *Politique de protection des zones côtières* établit des marges de retrait pour les structures permanentes et pourrait faciliter le retrait planifié;	4
	• la *Water for Life Strategy* de l'Alberta vise à atténuer les impacts du changement climatique dans des régions qui sont déjà soumises à des stress hydriques;	7
	• en Colombie-Britannique, la *Future Forests Ecosystem Initiative* intègre des mesures d'adaptation au changement climatique dans l'aménagement des forêts;	8
	• une foule de programmes fédéraux, provinciaux et territoriaux soutiennent la recherche et le réseautage.	10

majeures, comme des installations minières, des pipelines et des bâtiments de grande taille, dans le nord du Canada, où l'on a recours, notamment, à des thermosiphons pour refroidir artificiellement le pergélisol dans l'espoir de s'adapter à la dégradation de ce dernier (*voir* le chapitre 3). On peut également citer en exemple le plan d'intervention en cas de chaleur accablante dont s'est dotée la ville de Toronto ainsi que les systèmes d'alerte santé-chaleur mis en place dans d'autres centres urbains de l'Ontario et du Québec (*voir* les chapitres 5 et 6). Le plan d'intervention de Toronto a été conçu et mis en place en 1999 après que l'on eut constaté l'augmentation des températures estivales au cours des années 1990 et les effets dévastateurs des vagues de chaleur sur la santé ailleurs en Amérique du Nord. Ce plan est continuellement contrôlé, réévalué et amélioré, ce qui démontre qu'une adaptation efficace est un processus continu qui, souvent, ne se limitera pas à une seule mesure.

La prise en considération du changement climatique dans les processus de planification actuels constitue une approche efficace de l'adaptation.

L'adaptation ne doit pas s'effectuer en vase clos. Au contraire, en intégrant le changement climatique dans les processus de décision en matière de planification et de politiques, on pourra faire un usage plus efficace des ressources financières et humaines (Adger et al., 2007; Klein et al., 2007). À cet égard, le changement climatique constitue un des nombreux facteurs à prendre en considération dans le processus décisionnel. On compte au nombre des exemples d'intégration du changement climatique, parfois à une très petite échelle : le recours aux tendances climatiques récentes et aux projections des modèles climatiques pour mettre à jour les codes et les normes qui régissent le bâtiment de façon à réduire la vulnérabilité des infrastructures (*voir* le chapitre 6); la prise en considération, d'une part, de l'élévation du niveau de la mer dans la planification de l'aménagement côtier (*voir* le chapitre 4) et, d'autre part, des impacts hydrologiques du changement climatique sur l'offre et la demande d'eau dans le cadre d'initiatives de conservation de l'eau et de l'énergie (*voir* les chapitres 5, 6 et 8); l'intégration des impacts du changement climatique dans le processus d'évaluation environnementale des grands projets d'infrastructure (*voir* le chapitre 3). En outre, le changement climatique serait à prendre en considération dans un grand nombre de programmes et de politiques en voie d'élaboration ou d'examen qui ont trait à la gestion des ressources naturelles, à l'aménagement du territoire et à d'autres questions sensibles au climat (*voir* le chapitre 6).

Les stratégies fondées sur la gestion du risque aident les décideurs à composer avec les incertitudes associées au changement climatique.

Les intervenants qui prennent les décisions en matière d'adaptation devront composer avec les incertitudes qui entourent les projections des conditions climatiques à venir, les impacts du changement climatique et les futures conditions socio-économiques (qui déterminent, dans une large mesure, la capacité d'adaptation). La gestion du risque est un moyen de composer avec ces incertitudes; on l'utilise couramment dans le cas de facteurs non climatiques. Elle offre une approche pratique et crédible (*voir* la figure RS-5), bien comprise des décideurs, conçue

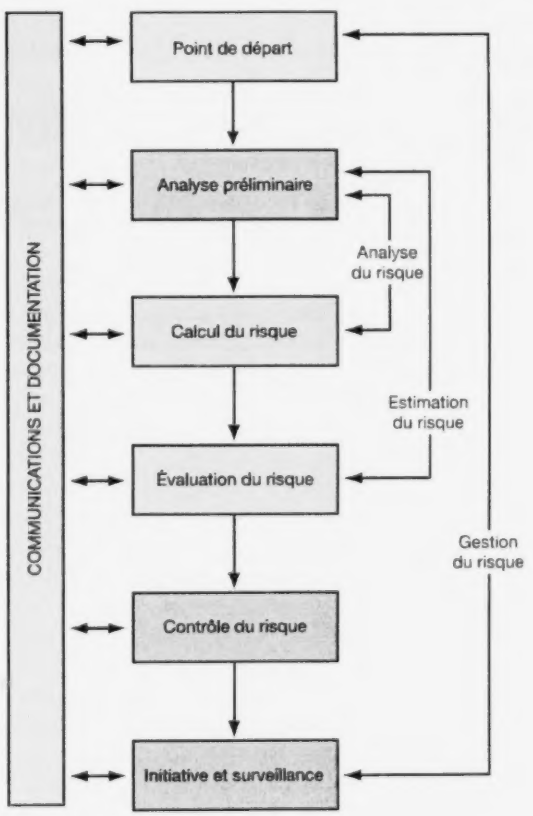


FIGURE RS-5 : Étapes du processus de gestion du risque (Bruce *et al.*, 2006).

en vue de définir les mesures pouvant être prises dans les limites d'un risque acceptable pour la société et couramment utilisée dans nombre de domaines professionnels. Parmi les outils de gestion du risque actuellement utilisés à l'appui de l'adaptation au changement climatique, on remarque un outil d'évaluation préliminaire des installations construites en milieu de pergélisol, que l'on emploie depuis la fin des années 1990 dans bon nombre de projets d'infrastructures nordiques (*voir* le chapitre 3), et un guide de gestion du risque à l'appui des décisions en matière d'adaptation, qui a récemment été élaboré à l'intention des municipalités de l'Ontario (*voir* le chapitre 6).

ORIENTATIONS FUTURES

Afin d'abattre les obstacles à l'adaptation, il importe de reconnaître les entraves à la sensibilisation et à l'accès à l'information et aux outils de soutien de la prise de décisions.

Cette évaluation présente plusieurs exemples d'initiatives d'adaptation récentes et en cours. Le nombre de mesures de ce genre est faible comparativement à l'ampleur des besoins. Les mesures d'adaptation doivent être appliquées d'autant plus rapidement que le rythme du changement climatique augmente. Afin de ce faire, il faudra surmonter certains des obstacles actuels à l'adaptation, notamment la difficulté d'accès aux connaissances, aux données et aux outils de soutien à la prise de décisions, les règlements ou lois qui peuvent entraver le recours à des stratégies d'adaptation et les attentes de la société. Dans certains cas, les obstacles sont le lot de certaines administrations ou de certains secteurs, et se rapportent à la réglementation ou aux pratiques exemplaires. Dans d'autres cas, cependant, ils sont communs à plusieurs régions ou à plusieurs secteurs. La meilleure façon de procéder consiste alors à mobiliser le secteur industriel (y compris les gens d'affaires et les organisations professionnelles), les groupes communautaires, les particuliers et tous les paliers de gouvernement qui peuvent, tous, assurer et faciliter la mise en œuvre des mesures d'adaptation (*voir* le chapitre 10). Le recoupement que l'on remarque dans les impacts du changement climatique (*voir* la figure RS-6) présente un défi à l'adoption de mesures d'adaptation efficaces.

Pour faire progresser le dossier de l'adaptation au Canada, il faudra poursuivre sur la lancée des initiatives actuelles et adopter de nouvelles mesures pour promouvoir et mettre en œuvre des mesures d'adaptation. La sensibilisation sera un outil important pour surmonter certains obstacles à l'adaptation (*voir* les chapitres 4, 5, 7 et 8). Il est important que les décideurs comprennent les risques que comporte le changement climatique et se rendent compte des avantages que présente l'adaptation à l'échelle locale et régionale. Le processus décisionnel en matière d'adaptation serait également facilité par le recours à des mécanismes pouvant améliorer l'accès aux connaissances et à l'expérience au sein du secteur industriel, du milieu universitaire et du secteur public ainsi que leur partage, de même que par la création d'outils permettant d'intégrer le changement climatique dans les processus de planification et de développement (*voir* les chapitres 2 et 10). Des approches stratégiques aideraient à maximiser les synergies et à réduire les risques de conflits entre les secteurs, les industries et les régions, et à l'intérieur de chacun d'eux. Dans certains cas, les décideurs pourront choisir de rendre obligatoire et de réglementer l'intégration de l'adaptation au changement climatique dans les programmes et les politiques (*voir* le chapitre 10).

S'il est vrai que des recherches s'imposent pour combler certaines lacunes sur le plan des connaissances et être en mesure de bien planifier l'adaptation, on dispose à l'heure actuelle de suffisamment de connaissances pour mettre en œuvre des stratégies d'adaptation dans la plupart des cas.

Les différents chapitres de la présente évaluation mettent en évidence plusieurs besoins sur le plan des recherches à effectuer pour soutenir la prise de décisions en matière d'adaptation, à savoir :

- des analyses économiques quantitatives, notamment sur les coûts et les avantages que présentent les impacts et les mesures d'adaptation;
- des analyses des processus d'adaptation;
- l'élaboration de scénarios climatiques et socio-économiques améliorés susceptibles d'apporter plus d'éléments utiles à la prise de décisions en matière d'adaptation et d'évaluation des impacts, et l'étude des incertitudes associées à ces scénarios;
- l'amélioration des connaissances sur les seuils à l'intérieur des systèmes naturels et humains au-delà desquels l'adaptation devient soit inefficace soit trop coûteuse;
- la mise au point de méthodes et d'outils pour faciliter l'intégration de l'adaptation au changement climatique dans les processus de planification sectoriels.

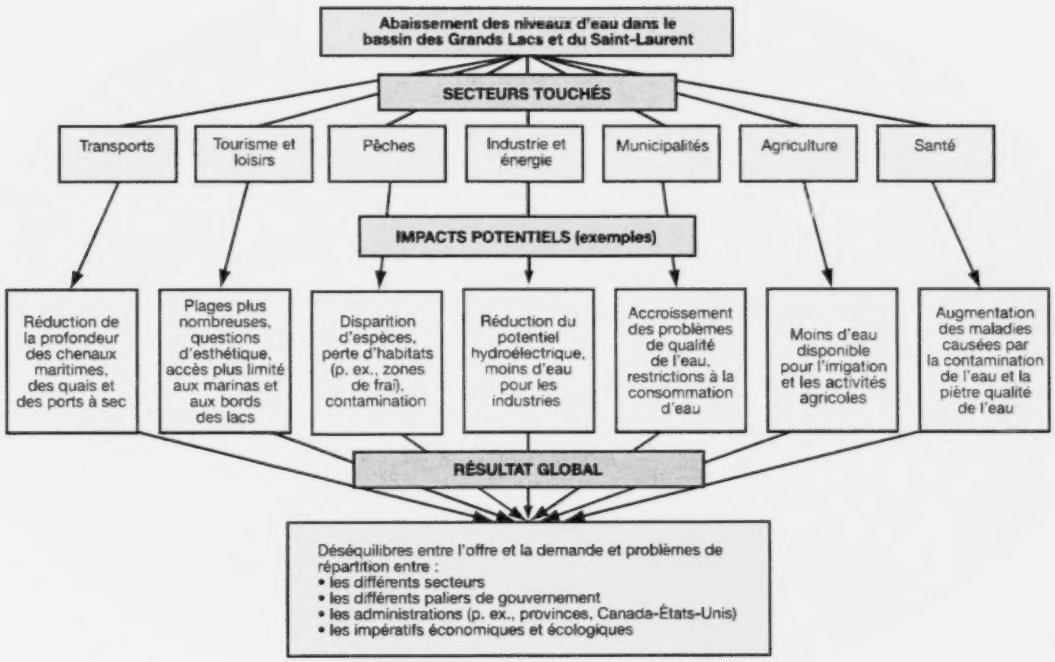


FIGURE RS-6 : L'abaissement des niveaux d'eau dans le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent fournit un exemple du recoupement qui caractérise les questions portant sur les impacts climatiques et l'adaptation. Les décisions portant sur l'adaptation prises dans un secteur auront des répercussions importantes sur quelques autres secteurs (Lemmen et Warren, 2004).

La nécessité d'entreprendre d'autres recherches et les incertitudes scientifiques que cela suppose ne sont pas des prétextes à l'inaction. Ainsi en témoignent les nombreux exemples de mesures d'adaptation préventives prises au Canada et ailleurs dans le monde. Les mesures d'adaptation qui visent à réduire la vulnérabilité à des conditions climatiques actuelles et futures constituent un premier pas logique, puisqu'elles procurent des avantages, peu importe l'allure que prendra le changement climatique. L'adaptation, par exemple, des plans d'un bâtiment ou d'un élément d'infrastructure en fonction des tendances climatiques récentes et des projections, la mise en œuvre de stratégies d'économie d'eau et d'énergie en vue d'en réduire la demande, et la réduction de la dépendance à l'égard des secteurs sensibles au climat par le biais de la diversification économique sont autant de mesures qui procureront des avantages à court et à long termes, et qui augmenteront la résilience des collectivités et de l'industrie.

L'adaptation est un processus continu auquel il faut accorder une plus grande attention au Canada et partout dans le monde. Dans de nombreux cas, les rajustements que nécessitera l'adaptation au changement climatique pourront s'effectuer à la faveur des processus et des activités en cours. L'urgence qui s'impose dépend de la vulnérabilité du système ainsi que de l'ordre de grandeur et du cycle de vie des investissements effectués. Par exemple, des milliards de dollars sont investis chaque année au Canada dans des infrastructures sensibles au climat qui devront fonctionner avec efficacité et en toute sécurité pendant de nombreuses décennies. Dans un même ordre d'idées, plusieurs industries et administrations locales planifient des travaux d'aménagement qui s'étendent sur les 20 à 50 prochaines années. Si l'on reconnaît que le climat de demain sera différent du climat actuel et si l'on conçoit des systèmes résistants capables de soutenir les changements qui se produiront, on augmentera la valeur des investissements et la durabilité des ouvrages construits.

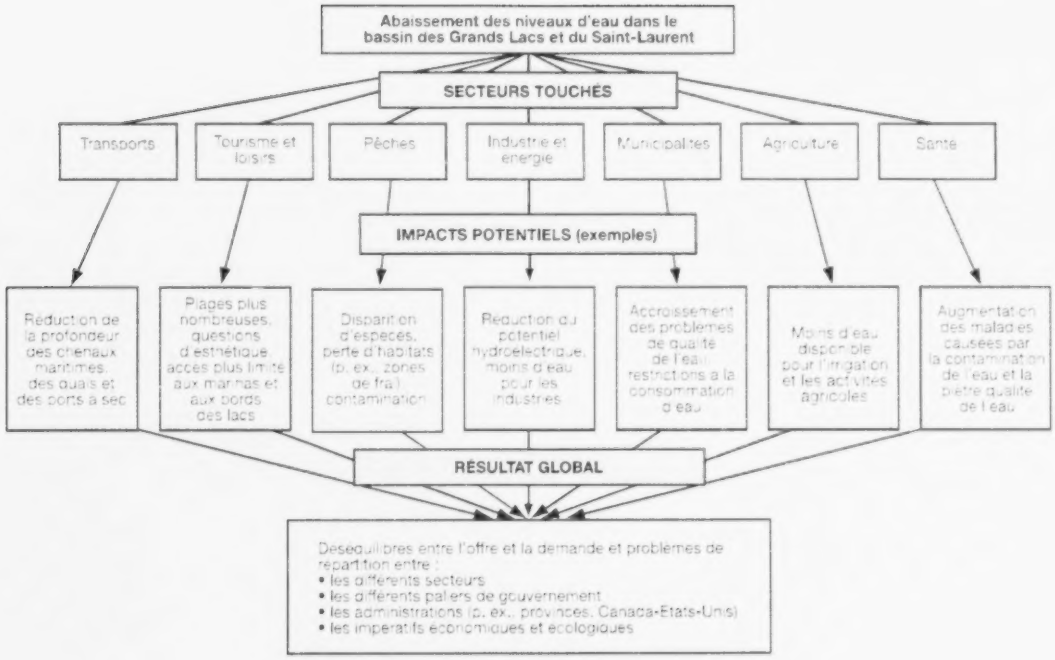


FIGURE RS-6 : L'abaissement des niveaux d'eau dans le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent fournit un exemple du recoupement qui caractérise les questions portant sur les impacts climatiques et l'adaptation. Les décisions portant sur l'adaptation prises dans un secteur auront des répercussions importantes sur quelques autres secteurs (Lemmen et Warren, 2004).

La nécessité d'entreprendre d'autres recherches et les incertitudes scientifiques que cela suppose ne sont pas des prétextes à l'inaction. Ainsi en témoignent les nombreux exemples de mesures d'adaptation préventives prises au Canada et ailleurs dans le monde. Les mesures d'adaptation qui visent à réduire la vulnérabilité à des conditions climatiques actuelles et futures constituent un premier pas logique, puisqu'elles procurent des avantages, peu importe l'allure que prendra le changement climatique. L'adaptation, par exemple, des plans d'un bâtiment ou d'un élément d'infrastructure en fonction des tendances climatiques récentes et des projections, la mise en œuvre de stratégies d'économie d'eau et d'énergie en vue d'en réduire la demande, et la réduction de la dépendance à l'égard des secteurs sensibles au climat par le biais de la diversification économique sont autant de mesures qui procureront des avantages à court et à long termes, et qui augmenteront la résilience des collectivités et de l'industrie.

L'adaptation est un processus continu auquel il faut accorder une plus grande attention au Canada et partout dans le monde. Dans de nombreux cas, les rajustements que nécessitera l'adaptation au changement climatique pourront s'effectuer à la faveur des processus et des activités en cours. L'urgence qui s'impose dépend de la vulnérabilité du système ainsi que de l'ordre de grandeur et du cycle de vie des investissements effectués. Par exemple, des milliards de dollars sont investis chaque année au Canada dans des infrastructures sensibles au climat qui devront fonctionner avec efficacité et en toute sécurité pendant de nombreuses décennies. Dans un même ordre d'idées, plusieurs industries et administrations locales planifient des travaux d'aménagement qui s'étendent sur les 20 à 50 prochaines années. Si l'on reconnaît que le climat de demain sera différent du climat actuel et si l'on conçoit des systèmes résistants capables de soutenir les changements qui se produiront, on augmentera la valeur des investissements et la durabilité des ouvrages construits.

RÉFÉRENCES

Adger, W.N., S. Agrawala, M. Mirza, C. Conde, K. O'Brien, J. Pulhin, R. Pulwarty, B. Smit et K. Takahashi. « Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity », dans *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M. Parry, O. Canziani, J. Palutikof, P. van der Linden et C. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2007, pp. 133-171.

Arctic Climate Impact Assessment. *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, New York, New York, 2005, 1024 p., <http://www.acia.uaf.edu/pages/scientific.html>, [consultation : 6 mai 2007].

BC Provincial Government. « *Firestorm report* », BC Provincial Government, 2003, <http://www.2003firestorm.gov.bc.ca/firestormreport/toc.html>, [consultation : 6 septembre 2007].

Bruce, J.P., M. Egener et D. Noble. *Adapting to climate change : a risk based guide for Ontario municipalities*, rapport remis à Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, 2006, 42 p.

Carroll, A.L., S.W. Taylor, J. Regniere et L. Safranyik. « Effects of climate change on range expansion by the mountain pine beetle in British Columbia », dans *Proceedings of Mountain Pine Beetle Symposium: Challenges and Solutions*, tenu les 30 et 31 octobre 2003 à Kelowna, Colombie-Britannique, T.L. Shore, J.E. Brooks et J.E. Stone (éd.), Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique, rapport d'information BC-X-399, 2004, pp. 223-232.

Environnement Canada. *Les dix événements météorologiques canadiens les plus marquants de 2005*, Environnement Canada, 2005,<http://www.msc.ec.gc.ca/media/top10/2005_f.html#topten>, [consultation : 7 août 2007].

Field, C.B., L.D. Mortsch, M. Brklacich, D.L. Forbes, P. Kovacs, J.A. Patz, S.W. Running et M.J. Scott. « North America », dans *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M. Parry, O. Canziani, J. Palutikof, P. van der Linden et C. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, p. 617–652.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Résumé à l'intention des décideurs », dans *Bilan 2001 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom et New York, New York, 2001, pp. 1-21, <http://www.ipcc.ch/pub/un/ giecgt2.pdf>, [consultation : 9 mai 2007].

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for policymakers », dans *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M. Parry, O. Canziani, J. Palutikof, P. van der Linden et C. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2007. <http://www.ipcc.ch/SPM13apr07.pdf>, [consultation : 27 mai 2007].

Klein, R.J.T., S. Huq, F. Denton, T.E. Downing, R.G. Richels, J.B. Robinson et F.L. Toth. « Inter-relationships between Adaptation and Mitigation », dans *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M. Parry, O. Canziani, J. Palutikof, P. van der Linden et C. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2007, pp. 745-777.

Lemmen, D.S. et F.J. Warren. *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne*, Gouvernement du Canada, 2004, 191 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/pdf/report_f.pdf>, [consultation : 6 mai 2007].

Munich Reinsurance. *Annual review : natural catastrophes 2005*, Munich Reinsurance, Knowledge Series, 2006, 56 p., <http://www.munichre.com/publications/302-04772_en.pdf>, [consultation : 13 septembre 2007].

Ressources naturelles Canada. *Programme sur le dendroctone du pin ponderosa (DPP)*, Ressources naturelles Canada, 2007, <http://mpb.cfs.nrcan.gc.ca/map_f.html>, [consultation : 31 octobre 2007].

Sécurité publique Canada. *Base de données canadienne sur les désastres*, Sécurité publique Canada, 2005, <http://www.ps-sp.gc.ca/res/em/cdd/search-fr.asp>, [consultation : 6 mai 2007].

Smit, B., I. Burton, R.J.T. Klein et R. Street. « The science of adaptation : a framework for assessment », dans *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, 1999, pp. 199-213.

Wilbanks, T., P. Romero Lankao, M. Bao, F. Berkhout, S. Cairncross, J-P. Ceron, M. Kapshe, R. Muir-Wood et R. Zapata-Marti. « Industry, settlement and society », dans *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M. Parry, O. Canziani, J. Palutikof, P. van der Linden et C. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2007, pp. 357-390.

CHAPITRE 1
Introduction

Auteurs principaux :
Donald S. Lemmen[1] et Fiona J. Warren[1]

« L'humanité dispose de plusieurs options, mais le passé n'en est pas une. »

(Sauchyn et Kulshreshtha, chapitre 7 du présent volume)

Notation bibliographique recommandée :

Lemmen, D.S. et F.J. Warren. « Introduction », dans *Vivre avec les changements climatiques : édition 2007*, D.S Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éditeurs), Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, pp. 21-26.

[1] Division des impacts et de l'adaptation aux changements climatiques, Ottawa (Ontario)

Le climat de la Terre est en évolution. Des écrits scientifiques de plus en plus abondants fournissent des indications sans équivoque du réchauffement planétaire, associé aux changements que l'on observe dans divers autres paramètres du climat, notamment les régimes de précipitations et les phénomènes climatologiques extrêmes (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 1995, 2001a, 2007a). Ces changements ont actuellement des effets observables sur les systèmes naturels et humains (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007b), et des implications importantes pour la société, l'économie et l'environnement. Cet important corpus de connaissances scientifiques a aidé à mettre au point une gamme d'initiatives stratégiques, tant locales que mondiales, visant les causes et les conséquences du changement climatique.

Bien qu'il soit admis qu'à la fois des facteurs naturels et l'activité humaine exercent une influence sur le climat à l'échelle planétaire, les causes prédominantes des changements du climat observés depuis le milieu du XX^{e} siècle sont la combustion de combustibles fossiles et les changements en matière d'utilisation des terres (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). On s'attend à ce que ces activités humaines continuent à exercer une influence plus importante que les facteurs naturels tout au long du présent siècle et, par la suite, et à ce qu'elles induisent des taux de réchauffement planétaire dépassant largement ceux que l'on a connus au cours des derniers millénaires (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Il est critique de réduire, ou d'atténuer, pour reprendre le terme utilisé dans les écrits sur le changement climatique, les émissions de gaz à effet de serre si l'on veut limiter la vitesse et l'ampleur du changement climatique à venir. Toutefois, compte tenu de l'inertie du système climatique de la Terre, la planète est vouée à subir les effets du changement climatique qui ne peuvent que se poursuivre; les températures et le niveau de la mer monteront inévitablement, quels que soient les efforts mondiaux consacrés à la limitation des émissions de gaz à effet de serre (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Ainsi, l'adaptation constitue l'unique réponse aux répercussions actuelles et à court terme du changement climatique (GIEC, 2007b).

De plus, l'adaptation présente généralement des avantages à l'échelle locale qui se matérialisent relativement vite après la mise en œuvre des mesures, contrairement à l'atténuation dont les avantages sont, pour la plupart, d'échelle mondiale et généralement longs à se concrétiser (Füssel et Klein, 2006), bien que certains avantages secondaires puissent se manifester presque immédiatement. Néanmoins, ces deux types de mesures sont des réponses stratégiques essentielles et complémentaires face aux défis que pose le changement climatique (*voir* la figure 1). Le nombre de mesures d'adaptation requis et leur coût sont directement fonction de la vitesse et de l'ampleur des changements du climat. Il est nécessaire d'adopter des mesures d'atténuation pour éviter les pires impacts du changement climatique (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'evolution du climat, 2007b) et accroitre la faisabilité de mesures d'adaptation efficaces.

L'**adaptation** désigne toute modification d'un système ou d'un processus en réponse à des changements du climat : modification de nos décisions, de nos activités et de nos façons de penser pour nous permettre de nous adapter à des changements observés ou prévus du climat, dans le but de modérer les dommages ou de tirer avantage de nouvelles possibilités (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001b). Il ne s'agit pas d'une idée nouvelle; en effet, les êtres humains et les

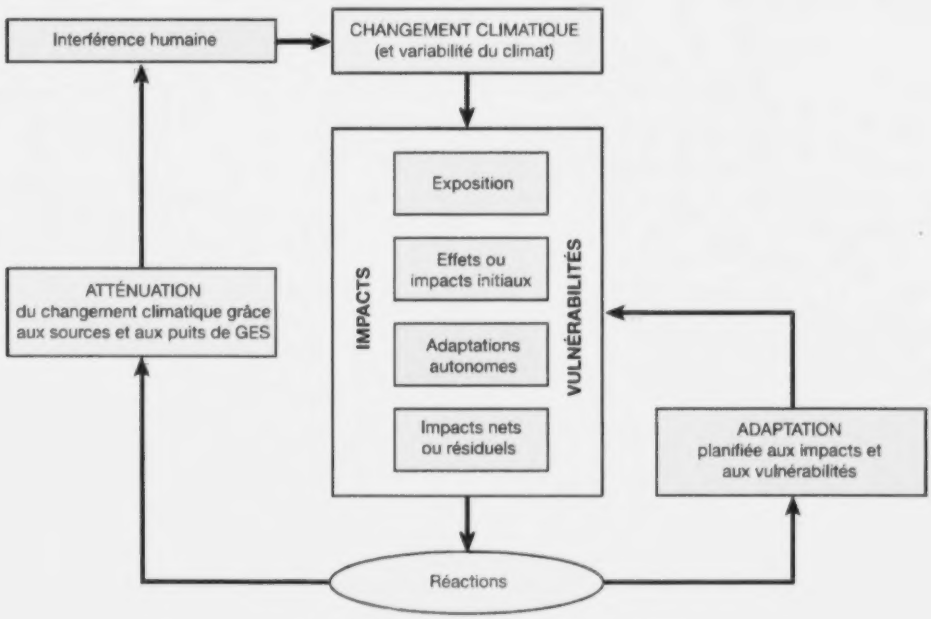


FIGURE 1 : Adaptation et atténuation dans le contexte du changement climatique *(tiré de* Smit *et al.*, 1999*)*.

Dans le présent rapport, l'expression « changement climatique » désigne tout changement du climat avec le temps, qu'il soit induit par des facteurs naturels, l'activité humaine ou les deux. Cet emploi est le même que celui qui en est fait par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, mais diffère de la définition de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, selon laquelle les changements de climat sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale, et viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat.

écosystèmes se sont toujours adaptés au climat et à son évolution. Les écosystèmes naturels s'adaptent spontanément aux effets du climat, tandis que les systèmes humains peuvent également le faire en prévision des changements du climat (Smithers et Smit, 1997). La notion d'adaptation est simple, mais le processus est complexe au sein des systèmes humains. De plus, les mesures d'adaptation sont très diverses et peuvent comprendre, par exemple, des changements comportementaux, des modifications opérationnelles, des interventions technologiques, de nouvelles pratiques d'investissement et de planification, des lois et des règlements, et représenter des coûts financiers et plus encore (*voir* Smit *et al.*, 2000; Füssel et Klein, 2006). Une vaste gamme de facteurs sociaux, économiques et environnementaux (*voir* le chapitre 2) détermine les mesures d'adaptation les plus appropriées pour tout problème donné. Dans nombre de situations, l'adaptation exigera une planification soignée, guidée par la recherche scientifique sur le changement climatique et une compréhension approfondie des systèmes en jeu.

UNE PERSPECTIVE CANADIENNE

Au Canada, le changement climatique touchera tous les aspects de nos vies; notre économie, notre société et notre bien-être général sont intimement liés, à la fois directement et indirectement, au climat, qui influe également sur le choix des cultures agricoles, la productivité de nos forêts, la propagation des maladies, la disponibilité de l'eau, la santé des écosystèmes et la stabilité de notre infrastructure. Le changement climatique comporte de nombreux nouveaux défis qui imposent un réexamen d'hypothèses et de pratiques de longue date.

Une grande variabilité caractérise notre climat, aussi bien à l'échelle saisonnière qu'interannuelle. Alors que notre économie, notre santé et notre infrastructure sont généralement bien adaptées aux conditions climatiques actuelles, il appert néanmoins que notre vulnérabilité ressort nettement lorsque l'on tient compte des effets des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes. Au Canada, il n'est pas rare que les pertes résultant de catastrophes de nature météorologique se chiffrent à plusieurs centaines de millions de dollars à chaque fois. Prenons, par exemple, les feux de friche qui sont survenus à l'été 2003 en Colombie-Britannique et en Alberta, et dont les coûts ont atteint 400 millions de dollars (Sécurité publique Canada, 2005); les tempêtes de grêle de 1991 et de 1996, à Calgary, ont coûté 884 millions de dollars et 305 millions de dollars respectivement (Sécurité publique Canada, 2005); l'inondation de la rivière Rouge en 1997, a coûté 817 millions de dollars (Sécurité publique Canada, 2005); et l'ouragan Juan qui a touché Halifax en 2003, 200 millions de dollars. Certaines catastrophes entraînent également des pertes qui s'élèvent à plusieurs milliards de dollars, notamment la tempête de verglas de 1998 qui s'est abattue sur l'est du Canada et dont les dégâts s'élevaient à 5,4 milliards de dollars, et l'inondation au Saguenay, en 1996, qui a coûté 1,7 milliard de dollars (Sécurité publique Canada, 2005). Les sécheresses de 2001 et 2002, d'ampleur nationale, ont réduit de 5,8 milliards de dollars le produit intérieur brut (Wheaton *et al*, 2005). Les impacts des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes se répercutent sur la santé et le bien-être des Canadiens, et entraînent fréquemment, outre des coûts monétaires, des déplacements de personnes, des blessures et des pertes de vie. Ainsi, la tempête de verglas de 1998 a causé le nombre le plus élevé de personnes blessées, soit 945, et 17 800 évacuations (Sécurité publique Canada, 2005). En 2000, à Walkerton, en Ontario, les pluies anormalement fortes qui ont suivi une période de temps sec ont contribué à la prolifération de la bactérie *E. coli*, qui a causé la mort de sept personnes et en a infecté des milliers d'autres (O'Connor 2002).

Au cours du dernier siècle, on a observé, dans la majeure partie des régions du Canada, une hausse des températures et des changements dans les régimes de précipitations. Depuis 50 ans, soit de 1948 à 2006 (période pour laquelle on dispose de données tant pour le nord que pour le sud du pays), la température moyenne à l'échelle nationale a monté de 1,2 °C (*voir* le chapitre 2; Environnement Canada, 2006), soit plus de deux fois plus que les températures moyennes en surface à l'échelle mondiale pour la même période. Au Canada, on prévoit que le réchauffement devrait continuer de s'accentuer au cours du présent siècle plus que dans la plupart du reste du monde (*voir* le chapitre 2; Environnement Canada, 2006). L'ampleur des changements du climat variera d'une région à l'autre du pays, avec une élévation des températures plus marquée dans les zones septentrionales et dans le centre sud des Prairies (*voir* la figure 2). Les précipitations annuelles moyennes devraient également croître, bien que, dans certaines régions, l'augmentation de l'évaporation et de la transpiration des plantes pourrait largement contrebalancer la hausse des précipitations

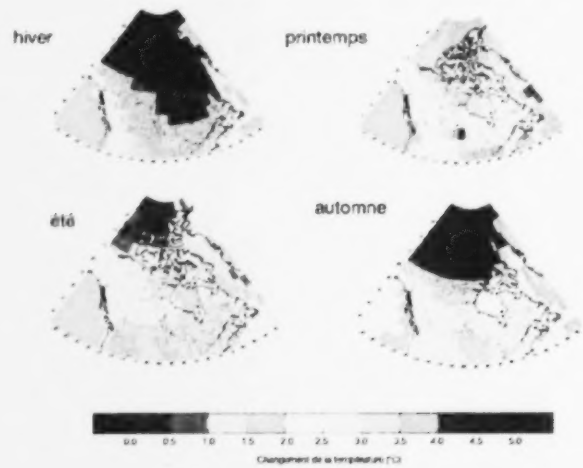


FIGURE 2 : Changements saisonniers de la température à travers le Canada d'ici à 2050 (par rapport à la période s'étendant de 1961 à 1990), basés sur la moyenne obtenue de sept modèles de circulation générale et en ayant recours aux scénarios d'émissions du Special Report on Emissions Scenarios (SRES).

annuelles, contribuant à rendre les conditions plus arides. Il est également projeté pour le Canada des épisodes plus fréquents de fortes précipitations, une baisse des précipitations pendant la saison de croissance et une hausse en hiver.

Des changements de la variabilité du climat et de la fréquence des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes accompagneront la modification progressive des conditions moyennes (*voir* la figure 3) et auront une incidence à la fois positive et négative sur la société, l'économie et l'environnement. Par exemple, une diminution de la fréquence des épisodes de froid extrême en hiver présentera des avantages pour la santé humaine, réduira la consommation d'énergie et favorisera de nombreux aspects de l'agriculture, mais aura des impacts défavorables importants sur la foresterie, le transport dans le Nord et l'exploration de ressources non renouvelables. On convient généralement que les impacts économiques défavorables les plus significatifs à court terme seront liés à la fréquence accrue de certains phénomènes climatologiques extrêmes, notamment les pluies, les sécheresses et les ondes de tempête extrêmes (Lemmen et Warren, 2004). Les impacts économiques à plus long terme attribués aux changements des conditions moyennes seront à la fois favorables et défavorables, et dépendront en partie de notre capacité de mettre en place de façon proactive des mesures d'adaptation efficaces (Lemmen et Warren, 2004).

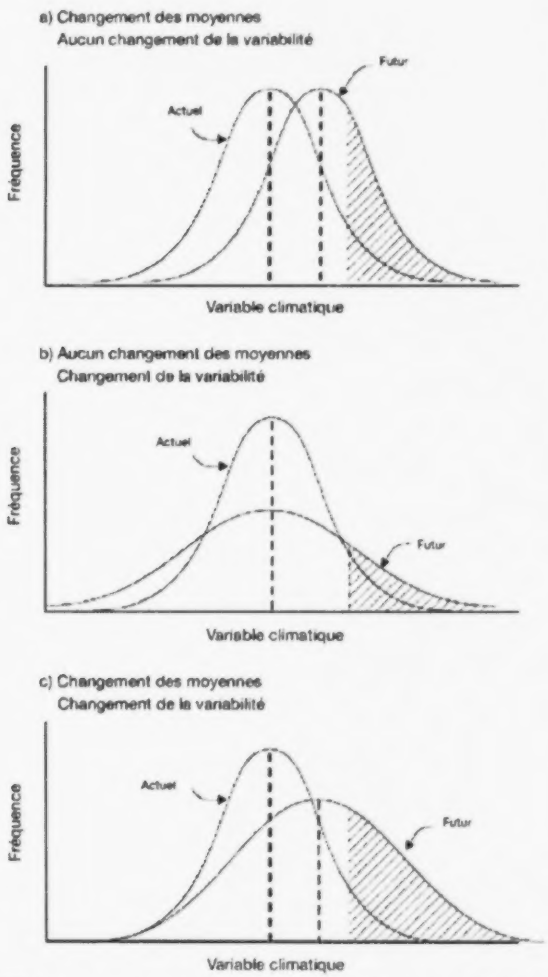


FIGURE 3 : Les changements des moyennes et de la variabilité du climat vont induire une fréquence accrue des extrêmes climatiques (*tiré de* Smit et Pilifosova, 2003).

Selon une analyse globale à l'échelle continentale, un réchauffement modéré pourrait présenter pour le Canada des avantages économiques grâce à l'augmentation de la production agricole, à la diminution de la mortalité due aux épisodes de temps froid, à la baisse de la demande en énergie pendant l'hiver et à des retombées intéressantes pour le secteur du tourisme (p. ex., Stern, 2006). Toutefois, ce type d'analyse tient rarement compte des impacts des phénomènes climatiques extrêmes ou de la capacité d'adaptation, ni, de façon générale, des conséquences non monétaires, telles que l'incidence sur l'identité culturelle et les écoservices. Mais le fait le plus important est sans nul doute la répartition inégale des effets d'un climat en évolution à l'échelle du pays; certaines régions et collectivités seraient davantage touchées parce qu'elles y sont plus exposées (p. ex., les collectivités nordiques et côtières), parce qu'elles sont moins résilientes (peut-être à cause de leur manque de ressources ou de leur éloignement) ou pour les deux raisons.

On utilise fréquemment des facteurs tels que la richesse, le niveau de scolarité et l'accès à l'information et aux technologies comme des indicateurs de la capacité d'un pays ou d'une région à mettre en place des mesures d'adaptation. Un autre facteur tout aussi important, mais plus difficile à quantifier, est l'expérience acquise dans un climat déjà très variable. À bien des égards, le Canada est en mesure de relever le défi de l'adaptation au changement climatique. Néanmoins, comme l'indique le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) dans les chapitres à caractère régional de leur quatrième rapport d'évaluation (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat 2007b), dans tous les pays, même les plus développés, il y a des régions, des collectivités et des secteurs qui sont vulnérables. Il est donc essentiel que nous comprenions nos vulnérabilités au climat actuel et à venir pour déterminer nos besoins en matière d'adaptation. Pour ce faire, il est nécessaire d'évaluer notre sensibilité et notre résilience au climat, la façon dont les facteurs sociaux, économiques et politiques influent sur notre capacité d'adaptation, ainsi que les mesures et processus d'adaptation. Le présent rapport, *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007* analyse ces questions dans le contexte canadien, au moyen d'une approche régionale.

ÉVALUATION ET INTÉGRATION DES CONNAISSANCES

Les recherches sur les impacts, l'adaptation et la vulnérabilité ont considérablement progressé depuis une dizaine d'années; elles suscitent notamment de plus en plus d'intérêt et le volume des écrits scientifiques qui y est consacré a pris des proportions considérables. Les progrès de la recherche sont pris en compte dans les rapports d'évaluation à l'échelle mondiale du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat et dans les initiatives auxquelles participent plusieurs pays, telles que l'Arctic Climate Impact Assessment (Évaluation de l'impact du changement

climatique dans l'Arctique; voir le chapitre 3; Arctic Climate Impact Assessment, 2005). La littérature fait de plus en plus état de la nature intégrée des questions d'adaptation et de l'importance des analyses qui font des recoupements entre les sciences biophysiques et les sciences sociales. Le fait de reconnaître, par exemple, que le savoir traditionnel (p. ex., Furgal *et al.*, 2006, Nickels *et al.*, 2006; Riewe et Oakes, 2006) contribue à améliorer la compréhension des impacts du changement climatique et de l'adaptation a été marquant. Un autre progrès digne de mention est la reconnaissance que l'importance, à l'échelle locale, de nombreux problèmes d'adaptation et la nature de certains travaux de recherche appliquée nécessitent souvent, et très tôt dans le processus, la participation de praticiens et d'intervenants à l'échelle de la collectivité. Toutefois, malgré tous les progrès importants réalisés, la base des connaissances accuse toujours des lacunes importantes, notamment en ce qui a trait à la pénurie d'analyses quantitatives portant sur les coûts aussi bien des impacts que des mesures d'adaptation (voir Stern, 2006).

Le Canada a effectué sa première évaluation d'envergure nationale des impacts du changement climatique, *l'Étude pancanadienne en* 1998 (Environnement Canada, 1998). Elle comprenait huit volumes (six volumes régionaux, un volume sectoriel à l'échelle nationale et un volume traitant de questions intersectorielles). *L'Étude* concluait que les coûts de nature sociale, économique et environnementale des impacts du changement climatique et de l'adaptation à celui-ci seraient importants au Canada. Le sommaire national à l'intention des décideurs qui accompagnait *l'Étude* relevait également l'absence d'une compréhension approfondie des divers effets du changement climatique et de leur ampleur dans toutes les régions du pays, et indiquait qu'il était nécessaire d'entreprendre des travaux considérables pour enrichir cette compréhension et élaborer des approches applicables en matière d'adaptation (Maxwell *et al.*, 1997). En 2004, le rapport intitulé *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne* apportait une mise à jour à *l'Étude pancanadienne* en présentant un résumé par secteur des études récentes. La mise en parallèle des lacunes sur le plan des connaissances et des besoins en recherche relevés dans les deux rapports montre qu'on admet de plus en plus la nécessité de mieux comprendre le concept d'adaptation (*voir* l'encadré 1).

ENCADRÉ 1

Les impacts du changement climatique et l'adaptation au Canada : questions en pleine évolution

Les recherches canadiennes sur les impacts du changement climatique et les mesures d'adaptation intègrent de plus en plus les tendances mondiales de la recherche en la matière et touchent toute une gamme de disciplines et de secteurs. Depuis quelques années, l'accent est surtout mis sur la compréhension de la vulnérabilité au climat actuel et futur, et sur la compréhension des facteurs sociaux qui influent sur les stratégies d'adaptation. Cette tendance est mise en évidence lorsqu'on compare les besoins en recherche relevés en 1997 par *l'Étude pancanadienne* et ceux énoncés dans le rapport de 2004 *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne*. Les besoins en recherche identifiés dans *l'Étude pancanadienne* concernaient principalement les données de référence, les capacités de modélisation et les impacts de premier ordre (Maxwell *et al.*, 1997), tandis que le rapport de 2004 soulignait la nécessité de mieux comprendre les effets interactifs (du climat et autres), les liens entre la science et les politiques, et la capacité d'adaptation actuelle et future (Lemmen et Warren, 2004). L'évolution des besoins est le reflet d'une participation croissante de diverses disciplines à la recherche sur les impacts du changement climatique et sur les mesures d'adaptation.

PORTÉE ET OBJECTIFS DE LA PRÉSENTE ÉVALUATION

Le rapport *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007* témoigne des progrès de la compréhension de la vulnérabilité du Canada au changement climatique réalisés dans les dix dernières années. La présente évaluation se fonde sur une approche principalement régionale pour examiner les possibilités et les risques actuels et futurs du changement climatique pour le Canada, en mettant l'accent sur les systèmes humains et les systèmes gérés. Elle repose sur une analyse critique des connaissances actuelles, tirées de publications techniques et scientifiques (revues à comité de lecture par les pairs et documentation dite « grise »), et des connaissances d'experts (y compris le savoir traditionnel). On y décrit l'état actuel de la compréhension, et les principales lacunes sur le plan des connaissances sont identifiées. Les auteurs soulignent les progrès réalisés dans la compréhension de la question de l'adaptation et fournissent des exemples d'initiatives récentes et en cours en matière d'adaptation. Bien que l'évaluation s'intéresse surtout aux études menées au Canada, des références à des études internationales ont été ajoutées au besoin. Le chapitre 2 explique plus en détail l'approche utilisée dans le cadre de l'évaluation.

La présente évaluation ne prétend pas être exhaustive, mais se veut plutôt un état des lieux de nos connaissances sur la vulnérabilité et sur les principaux problèmes auxquels chaque région du pays est confrontée, tout en étant utile par rapport aux gestes politiques à accomplir. Cette évaluation scientifique constituera une source d'information à jour et facilement accessible sur les impacts du changement climatique et l'adaptation, qui assurera les fondements d'une prise de décisions éclairée et facilitera l'élaboration de politiques en matière d'adaptation.

STRUCTURE DE L'ÉVALUATION

L'évaluation comprend au total, avec l'introduction, dix chapitres, ainsi qu'un rapport de synthèse.

Le chapitre 2 – « Information de base » – présente les ouvrages de référence pertinents au présent rapport. Les diverses sections du chapitre comprennent : 1) une description des principales notions qui sont reprises dans les chapitres subséquents; 2) un examen des données scientifiques qui étayent les indications et les causes du changement et de la variabilité passés du climat, ainsi que des prévisions des changements à venir; 3) un vaste survol des principaux facteurs permettant de comprendre les impacts du changement climatique et les mesures d'adaptation nécessaires au Canada. On y met en évidence les raisons pour lesquelles ces questions sont pertinentes aussi bien à l'échelle locale que nationale; et 4) une description des approches utilisées dans le cadre de la présente évaluation.

Les chapitres 3 à 8 présentent les analyses régionales axées sur le Nord canadien, l'Atlantique, le Québec, l'Ontario, les Prairies et la Colombie-Britannique. Ils constituent la partie principale de l'évaluation. Chaque chapitre portant sur une région du pays examine le climat actuel et futur, les tendances socioéconomiques pertinentes, les sensibilités actuelles au climat, ainsi que les risques et les possibilités que présente le changement climatique (étant entendu que, de manière générale, il existe beaucoup moins d'études sur les possibilités). Les chapitres à caractère régional font également état de pratiques, de choix et de planification en matière d'adaptation. Les chapitres ne suivent pas nécessairement un modèle commun, car ils mettent l'accent sur divers aspects importants qui varient d'une région à l'autre, et ils contiennent un volume distinct d'information pertinente. Les auteurs ont plutôt voulu structurer chaque chapitre de manière à mieux décrire les situations régionales. Par exemple, on disposait de beaucoup plus d'informations ciblées pour le Québec que pour d'autres régions, lesquelles découlaient en grande partie des activités menées depuis 2002 par le consortium Ouranos, dont le mandat inclut explicitement l'étude des questions liées à l'adaptation (http://www.ouranos.ca/). Dans le même ordre d'idée, le chapitre sur le Nord canadien se fonde directement sur les résultats obtenus grâce à l'*Évaluation de l'impact du changement climatique dans l'Arctique* réalisée en 2005, qui est une synthèse plus récente et exhaustive que les études disponibles pour les autres régions. Néanmoins, les chapitres ont certains éléments en commun; ils commencent notamment par une présentation concise des principaux résultats dont il sera question dans la partie principale du chapitre et se terminent par une synthèse des questions liées à l'adaptation. Ils contiennent également des études de cas qui mettent plus en évidence les principales questions en jeu et décrivent des initiatives récentes et en cours en matière d'adaptation au changement climatique.

Le chapitre 9 – « Le Canada dans le contexte international » – examine les implications possibles pour le Canada des impacts du changement climatique à l'étranger et comment ces impacts sur le territoire canadien peuvent influer sur les relations avec les autres pays. Une vaste gamme de questions sont abordées, dont le commerce, le développement international, l'immigration, le tourisme, la sécurité et la souveraineté. Étant donné la nature intégrée du marché mondial, il est probable que le changement climatique à l'extérieur du Canada ait de plus graves répercussions sur certains secteurs de l'économie canadienne qu'il n'en aurait directement sur les activités nationales. Les recherches sur les impacts, et sur leurs implications en termes d'adaptation, demeurent néanmoins limitées non seulement pour ce qui est du Canada, mais aussi pour la plupart des autres pays.

Le chapitre 10 – « Progrès sur la voie de l'adaptation » – découle des chapitres précédents. Les aperçus régionaux ont décrit l'état de la compréhension et de la disposition générale à mettre en place des mesures d'adaptation à un moment donné dans le temps. Ce chapitre final examine les avenues futures possibles susceptibles d'offrir les réponses voulues aux besoins d'adaptation relevés dans les chapitres précédents et dans d'autres évaluations portant sur les impacts du changement climatique et sur l'adaptation.

— RÉFÉRENCES

Arctic Climate Impact Assessment. *Arctic Climate Impact Assessment-Scientific Report*, Cambridge University Press, New York New York, 2005, 1024 p., <http://www.acia.uaf.edu/pages/scientific.html>, [consultation : 6 mai 2007].

Environnement Canada. *L'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique : points saillants pour les Canadiens*, Environnement Canada, 8 volumes, 1998.

Environnement Canada. *Températures et précipitations dans une perspective historique : Annuelle 2006*, Environnement Canada, 2006, <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/ccrm/bulletin/annual06/national_f.cfm>, [consultation : 7 mai 2007].

Furgal, C., C. Fletcher et C. Dickson. Ways of Knowing and Understanding: Towards the Convergence of Traditional and Scientific Knowledge of Climate Change in the Canadian North, Environnement Canada, 2006, <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/saib/atmosphere/Ways_of_Knowing_Understanding/Ways_of_Knowing_Understanding_e.pdf>, [consultation : 3 juillet 2007].

Füssel, H. et R.J.T. Klein. « Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking », *Climatic Change*, vol. 75, n° 3, 2006, pp. 301-329.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, contribution du Groupe de travail I au Deuxième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.T. Houghton, L.G. Meira, B.A. Filho, N. Callender, N. Harris, A. Kattenberg et K. Maskell (éd.), Cambridge University Press, Royaume-Uni, 1995, 572 p.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Résumé à l'intention des décideurs », dans *Bilan 2001 des changements climatiques : les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge,Royaume-Uni et New York, New York, 2001a, pp. 1-20, <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>, [consultation : 6 mai 2007].

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Annexe B: glossaire » dans Bilan 2001 des changements climatiques : rapport synthèse, contribution des groupes de travail I, II et III au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001a, <http://www.ipcc.ch/pub/syrglossfrench.pdf>, [consultation : 15 mai 2007].

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for Policymakers », dans *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignot et H.L. Miller (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007a, pp.1-18. <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf >, [consultation : 6 mai 2007].

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for Policymakers », dans *Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2007b, pp. 1-18., <http://www.ipcc.ch/SPM6avr07.pdf>, [consultation : 6 mai 2007].

Lemmen, D.S. et F.J.Warren. *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne*, Gouvernement du Canada, 2004, 191 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/pdf/report_f.pdf>, [consultation : 6 mai 2007].

Maxwell, B., N. Mayer et R. Street. « National summary for policy makers », dans *L'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*, Environnement Canada, 1997, 24 p.

Nickels, S., C. Furgal, M. Buell et H. Moquin. *Unikkaaqatigiit- Putting the Human Face on Climate Change: Perspectives from Inuit in Canada*, publication conjointe du Inuit Tapiriit Kanatami, Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments à l'Université Laval et le Ajunngimiq Centre à la National Aboriginal Health Organization, 2006, 195 p.

O'Connor, D. Report on the Walkerton Inquiry, Part One: the events of May 2000 and related issues, ministère du Solliciteur général de l'Ontario, 2002., 504 p.

Riewe, R. et J. Oakes. *Climate Change: Linking Traditional and Scientific Knowledge*, Aboriginal Issues Press, University of Manitoba, Winnipeg (Manitoba), 2006, 289 p.

Sécurité publique Canada. Base de données canadiennes sur les désastres, Sécurité publique Canada, 2005, <http://www.ps-sp.gc.ca/res/em/cdd/search-fr.asp>, [consultation : 6 mai 2007].

Smit, B. et O. Pilifosova. « From adaptation to adaptive capacity and vulnerability reduction », dans *Climate Change, Adaptive Capacity and Development*, J.B. Smith, R.J.T., Klein et S. Huq (éd.), Imperial College Press, Londres, Royaume-Uni, 2003, pp. 9-28.

Smit, B., I. Burton, R.J.T. Klein et R. Street. « The science of adaptation: a framework for assessment », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, 1999, pp. 199-213.

Smit, B., I. Burton, R.J.T. Klein et J. Wandel. « An anatomy of adaptation to climate change and variability », *Climatic Change*, vol. 45, n° 1, 2000, pp. 223-251.

Smithers, J. et B. Smit. « Human adaptation to climatic variability and change », *Global Environmental Change*, vol. 7, n° 2, 1997, pp. 129-146.

Stern, N. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, New York, New York, 2006, 712 p., <http://www.hmtreasury.gov.uk/independent_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm>, [consultation : 6 mai 2007].

Wheaton, E, S. Kulshreshtha et V. Wittrock. *Canadian Droughts of 2001 and 2002 : Climatology, Impacts and Adaptation*, Volumes I and II, Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), publication n° 11602-1E03, 2005.

CHAPITRE 2
Information de base : concepts, aperçus et approches

Auteurs principaux :
Fiona J. Warren[1] et Paul Egginton[1]

Collaborateurs :
Elaine Barrow (*consultante, Regina, Saskatchewan*), Claude Desjarlais (*Ouranos*), Henry Hengeveld (*Environnement Canada*), Don Lemmen (*Ressources naturelles Canada*) et Guillaume Simonet (*Ouranos*)

Remerciements :
Les auteurs veulent remercier tout spécialement les personnes suivantes qui ont aidé à améliorer le présent chapitre, grâce à leurs suggestions et à leur contribution : Alain Bourque, Jim Bruce, Elizabeth Bush, Jacinthe Lacroix, Sharon Smith, Xuebin Zhang et Francis Zwiers.

Notation bibliographique recommandée:

Warren, F.J. et P.A. Egginton. « Information de base : concepts, apreçus et approches », dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éditeurs), Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, pp. 27-56.

---

[1] Division des impacts et de l'adaptation liés au changement climatique, Ressources naturelles Canada Ottawa (Ontario).

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 29

2 PRINCIPAUX CONCEPTS 29
- 2.1 Adaptation 29
- 2.2 Vulnérabilité 30
- 2.3 Capacité d'adaptation 32
- 2.4 Résilience 33
- 2.5 Technologies aux fins d'adaptation 33
- 2.6 Scénarios 34

3 SCIENCE DU CLIMAT 36
- 3.1 Moteurs du changement climatique 36
- 3.2 Variabilité du climat 38
- 3.3 Changements climatiques constatés et projetés (à l'échelle mondiale) 39

4 APERÇU DU CHANGEMENT CLIMATIQUE AU CANADA 40
- 4.1 L'économie canadienne 41
- 4.2 Population et profil démographique 43
- 4.3 Tendances et projections du climat 44
- 4.4 Conclusions 51

5 APPROCHES UTILISÉES DANS L'ÉVALUATION 52
- 5.1 Synthèse 52
- 5.2 Probabilité et confiance 52
- 5.3 Utilisation des scénarios 53

RÉFÉRENCES 53

Annexe 1 — Présentation graphique des scénarios climatiques 56

1 INTRODUCTION

Le présent chapitre, qui sert de référence aux suivants, explique les principaux concepts liés aux objectifs primordiaux de l'évaluation. Il offre également un court résumé des sciences associées à la compréhension du changement climatique, passé et futur, et un aperçu des profondes répercussions que le changement climatique entraîne au Canada. Les lecteurs sont invités à consulter les références citées dans le présent chapitre, où ils trouveront des explications plus détaillées. Enfin, le chapitre décrit les approches utilisées aux fins de la présente évaluation, en signalant les différences avec d'autres récentes évaluations entreprises aux échelles nationale et internationale.

2 PRINCIPAUX CONCEPTS

Les Canadiens sont de plus en plus conscients que le changement climatique constitue un problème fondamental pour leur santé et leur bien-être, de même que pour l'environnement et l'économie. Presque tous les échanges en matière de politiques publiques ont porté principalement sur les mesures d'atténuation, indispensables à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. L'atténuation s'avère une démarche essentielle faisant partie des efforts déployés en vue de réduire la vitesse du changement climatique et, à terme, son ampleur. La population est cependant moins au courant du fait que, quel que soit le succès des mesures d'atténuation à l'échelle mondiale, le changement climatique et les impacts qui y sont associés sont inévitables (p. ex., Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Même si les concentrations de gaz à effet de serre étaient stabilisées, le réchauffement et l'élévation du niveau de la mer vont se poursuivre pendant des centaines d'années à cause de la nature du système climatique et des rétroactions qui s'y produisent (Meehl *et al.*, 2006; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). La présente évaluation met l'accent sur la nécessité de s'adapter, compte tenu du fait que le climat actuel du Canada est différent de celui du passé récent et qu'il continuera de changer au cours des années à venir.

Les mesures d'adaptation prises par divers gouvernements canadiens, des industries, des collectivités et des particuliers sont, et continueront d'être, fondées sur la compréhension implicite ou explicite de la vulnérabilité. En ce qui concerne le changement climatique, cela implique de prendre en considération la façon dont le climat devrait changer, les impacts probables de ces changements et le potentiel d'adaptation. Pour comprendre le concept de vulnérabilité, les auteurs de la présente évaluation ont puisé dans de nombreux domaines, dont les sciences physiques, biologiques et sociales, ainsi que l'analyse économique. Ils ont ensuite intégré ces informations à d'autres sources de connaissances, dont le savoir local. Plusieurs concepts clés, qui utilisent une terminologie spécifique au domaine et qui ne peuvent être définis par une simple définition de dictionnaire, sont à la base de la présente analyse. Plutôt que de redéfinir les principaux concepts tout au long du rapport, ils sont expliqués en détail dans le présent chapitre. Il est à noter que le glossaire du rapport contient une liste plus longue de termes-clés relatifs aux impacts et à l'adaptation. Dans le reste du chapitre 2, les termes du glossaire sont indiqués en caractères gras/italique la première fois qu'ils sont mentionnés.

2.1 ADAPTATION

On entend par ***adaptation*** toute action qui réduit les ***impacts*** négatifs du ***changement climatique*** ou qui permet de tirer profit de nouvelles occasions qui se présentent. L'adaptation est nécessaire pour s'attaquer aux problèmes du changement climatique, en plus d'être un complément essentiel à ***l'atténuation*** (réduction des émissions de gaz à effet de serre; *voir* l'encadré 1). Aux termes de la ***Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC)*** et du ***Protocole de Kyoto***, les parties, c'est-à-dire les pays, doivent faciliter l'adaptation. Les objectifs de l'adaptation sont, entre autres, 1) d'atténuer les impacts actuels (Füssel et Klein, 2006), 2) de réduire la ***sensibilité*** et l'***exposition*** aux dangers du climat et 3) d'accroître la résistance aux facteurs de stress d'ordre climatique et non climatique, c'est-à-dire améliorer la ***capacité d'adaptation***. Une adaptation réussie ne veut pas dire qu'il n'y aura pas d'impacts négatifs; cela veut plutôt dire qu'ils seront moins importants que s'il n'y avait pas eu d'adaptation.

Il y a de nombreux types d'adaptation (*voir* le tableau 2). L'adaptation comprend des mesures prises avant l'observation d'impacts (mesures anticipatoires), ainsi que d'autres prises après leur apparition (mesures réactionnelles). Ces deux types d'adaptation peuvent être planifiés, c'est-à-dire qu'ils sont le fruit de décisions politiques, alors que les mesures réactionnelles peuvent aussi se manifester de manière spontanée, c'est-à-dire sans planification. L'adaptation planifiée est un processus itératif comprenant quatre étapes de base : le développement informationnel et la conscientisation, la planification et la conception, la mise en œuvre, ainsi que la surveillance et l'évaluation (*voir* la figure 1; Klein *et al.* 1999). Dans la plupart des

ENCADRÉ 1

Adaptation et atténuation

Il y a deux catégories de mesures qui peuvent être prises face au changement climatique : les mesures d'atténuation et les mesures d'adaptation. Dans la documentation sur le changement climatique, ces deux termes sont définis de façon claire et distincte, et présentent des différences fondamentales (*voir* le tableau 1). L'atténuation concerne seulement une « intervention ***anthropique*** cherchant à réduire les sources ou augmenter les puits de gaz à effet de serre » (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). Comme l'atténuation vise à réduire ou à prévenir des changements dans le ***système climatique***, elle cible les causes du changement climatique (Schipper, 2006).

L'adaptation, au contraire, vise les conséquences du changement climatique (Schipper, 2006) et tente d'en réduire ou d'en prévenir les impacts sur les systèmes humains et naturels.

Malgré la distinction entre les deux termes, l'adaptation et l'atténuation sont codépendantes. Les mesures d'atténuation, en ralentissant la vitesse et l'ampleur des changements du système climatique, ont une incidence sur la demande de stratégies d'adaptation ainsi que sur leur potentiel de réussite. Plus les changements seront d'un ordre de grandeur important, plus il faudra de l'adaptation; et plus les changements seront rapides, plus l'adaptation sera difficile. En outre, certaines actions peuvent être considérées comme des mesures à la fois d'atténuation et d'adaptation. Planter des arbres en milieu urbain, par exemple, permet d'augmenter les puits de gaz à effet de serre (atténuation) et de refroidir les environs (adaptation au réchauffement). Cette codépendance prouve qu'il est nécessaire d'élaborer des politiques sur le changement climatique qui visent les deux types de mesures en même temps (Mendelsohn, 2006).

Alors que la distinction terminologique entre l'adaptation et l'atténuation est claire dans le milieu s'intéressant au changement climatique, tous les domaines n'emploient pas ces termes de la même façon. Celui des risques naturels, par exemple, a longtemps employé « atténuation » pour parler des actions qui réduisent les conséquences des risques naturels. Dans celui de l'aménagement du territoire, les efforts en vue de réduire les développements dans les plaines inondables seraient considérés comme une mesure d'atténuation pour les chercheurs du domaine des risques naturels, mais comme une mesure d'adaptation dans le contexte du changement climatique.

TABLEAU 1 : Caractéristiques de l'atténuation et de l'adaptation (*établies d'après* Füssel et Klein, 2006).

Caractéristique	Adaptation au changement climatique	Atténuation du changement climatique
Systèmes qui en bénéficient	Certains systèmes	Tous les systèmes
Échelle de l'effet	Locale à régionale	Mondiale
Durée	Années à siècles	Siècles
Efficacité	Généralement moins certaine	Certaine
Avantages connexes	La plupart du temps	Quelquefois
Suivi	Plus difficile	Relativement facile

cas, les mesures anticipatoires qui ont été planifiées seront moins coûteuses à long terme et plus efficaces que les mesures réactionnelles. Par contre, il y a des risques à appliquer des mesures d'adaptation relatives à un avenir incertain, dont les coûts de renonciation (l'utilisation de ressources qui, autrement, auraient pu être employées pour des priorités concurrentielles) et la possibilité d'avoir une ***mauvaise adaptation*** (*voir* Mendelsohn, 2006).

De nombreux groupes, dont des particuliers, des organisations, des industries et tous les ordres de gouvernement, participent à faciliter l'adaptation, de même qu'à choisir et à appliquer des mesures spécifiques d'adaptation. Ces mesures sont très variées et peuvent inclure des changements de comportement, des modifications en matière d'opérations, des interventions technologiques, de même que la révision des pratiques de planification et d'investissement, ainsi que des législations. Un des rôles des gouvernements est de fournir des renseignements et des ***outils***, en plus d'établir des cadres d'action susceptibles de promouvoir les mesures d'adaptation (Stern, 2006).

Beaucoup d'études sur les impacts du changement climatique offrent une liste de stratégies d'adaptation potentielles, qui en illustre la diversité. De nombreux exemples sont présentés dans les chapitres consacrés aux régions de la présente étude. Néanmoins, les exemples ne sont qu'un point de départ pour l'analyse. Avant de prendre des décisions concernant la meilleure mesure d'adaptation à prendre pour contrer un impact spécifique, ou une série d'impacts, il faut comprendre le processus d'adaptation et les concepts qui s'y rattachent – ***vulnérabilité,*** capacité d'adaptation et ***résilience*** (*voir* les sections 2.2 à 2.4). L'adaptation ne sera pas seulement une réponse au changement climatique, elle devra aussi tenir compte de différents facteurs, lesquels peuvent donner naissance tant à des synergies qu'à des conflits. Une attention particulière doit être apportée à la faisabilité, à la probabilité et aux mécanismes d'adoption des stratégies d'adaptation. Il y a certaines questions essentielles à poser, notamment (Smit et Wandel, 2006) : « Qu'est-ce qui peut être fait au niveau pratique ? » « Qui le fera ? » « Comment cela sera-t-il mis en œuvre ? » Les recherches portant sur ces questions sont actuellement rares dans le domaine du changement climatique (Smit et Wandel, 2006).

2.2 VULNÉRABILITÉ

Dans les ouvrages consacrés au changement climatique, la vulnérabilité se définit comme étant le degré selon lequel un ***système*** risque de subir ou de tolérer les effets néfastes du changement climatique (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). Le ***Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*** (GIEC) précise que la « vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme

TABLEAU 2 : Différents types d'adaptation (*extrait modifié tiré de* Smit *et al.*, 1999).

ADAPTATION			
Selon	Type d'adaptation		
L'intention	Spontanée		Planifiée
L'action (par rapport au stimulus climatique)	Réactive	Simultanée	Préventive
L'étendue temporelle	À court terme		À long terme
L'étendue spatiale	Localisée		Étendue

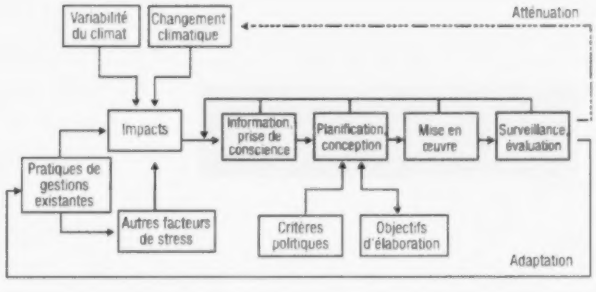


FIGURE 1 : Cadre conceptuel indiquant (dans la partie ombrée) les étapes pour planifier l'adaptation au changement et à la variabilité climatiques (*tiré de* Klein *et al.*, 2006).

des ***variations climatiques*** auxquels un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité et capacité d'adaptation » (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). La vulnérabilité présente donc à la fois une dimension externe, l'exposition au climat et des caractéristiques internes au système à l'étude, soit la sensibilité et la capacité d'adaptation (Füssel et Klein, 2006). Il faut aussi comprendre les processus biophysiques et socioéconomiques en jeu (Adger, 2006).

Ainsi, l'évaluation de la vulnérabilité d'une exploitation agricole au changement climatique nécessite que l'on comprenne la façon dont le climat devrait changer (p. ex., températures plus élevées, ***sécheresses*** plus fréquentes), la sensibilité du système à ces changements (p. ex., la relation entre le rendement de culture et la température ou la sécheresse) et la possibilité pour le système de s'adapter aux changements (p. ex., en plantant des cultures différentes, en irriguant). Même si l'exploitation agricole peut être très sensible au changement climatique, puisque le rendement des cultures est fortement régi par la température et la sécheresse, le système ne serait pas considéré comme très vulnérable si des mesures d'adaptation efficaces, telles que planter des cultures plus résistantes à la sécheresse, étaient faciles à mettre en œuvre.

L'exemple ci-dessus illustre trois autres aspects importants de la vulnérabilité. Premièrement, par définition, la vulnérabilité met l'accent sur les impacts négatifs, c'est-à-dire « les effets défavorables du changement climatique » (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). Il est cependant accepté que le changement climatique aura des avantages aussi bien que des impacts négatifs. Dans cet exemple, les températures plus élevées peuvent aussi se traduire par de meilleurs rendements de culture. De ce fait, un des autres objectifs de l'adaptation est de faire des ajustements pour mieux tirer profit des avantages que peut présenter le changement climatique. Deuxièmement, les aspects du changement climatique les plus importants pour une prise de décisions éclairée concernant l'adaptation sont rarement ceux qui retiennent le plus l'attention au cours des discussions sur les paramètres du climat : les changements des températures et des précipitations moyennes. Dans l'exemple mentionné, il faudrait également prendre davantage en considération les paramètres suivants dans le cas de rendements de culture : le moment de survenue des précipitations, l'occurrence d'épisodes de pluies extrêmes, les degrés-jours de croissance et la sévérité de sécheresses. Troisièmement, et d'ailleurs l'aspect le plus important, lorsque la vulnérabilité d'un système est considérée comme relativement faible à cause de sa forte capacité d'adaptation, ce dernier peut tout de même subir d'importantes conséquences si des mesures d'adaptation ne sont pas appliquées. Dans l'exemple, si l'exploitant continuait à planter les mêmes cultures sans faire d'ajustements, il pourrait subir de graves conséquences ou ne pas être en mesure de tirer profit de nouvelles occasions.

Reconnaître la nécessité de prendre en considération la capacité d'adaptation des systèmes est ce qui distingue la vulnérabilité de la sensibilité. La sensibilité ne tient pas compte de l'effet modérateur de l'adaptation, alors que la vulnérabilité peut être vue sous l'angle des conséquences qui subsistent après le recours aux mesures d'adaptation. Les premières études sur les impacts du changement climatique mettaient souvent l'accent sur la sensibilité, alors qu'on accepte maintenant que les mesures d'adaptation auront une grande influence sur l'ampleur des impacts du changement climatique. En effet, des chercheurs ont fait remarquer que « les études sur les conséquences du changement climatique sont sans intérêt si la vaste gamme d'options dont on dispose en matière d'adaptation n'est pas prise en considération » (Adger et Kelly, 1999 [traduction]). La plupart des études les plus récentes sont axées sur l'évaluation de la vulnérabilité, et non de la sensibilité.

Évaluer la vulnérabilité demande que l'on considère les principaux stress, tant climatiques que non climatiques, qui s'exercent sur un système ou une région, de même que les influences des conditions socio-économiques sur la capacité d'adaptation (*voir* la section 2.3; Füssel et Klein, 2006). On reconnaît généralement que la participation des ***intervenants*** est une première étape essentielle dans le processus d'évaluation des études de la vulnérabilité (Lim *et al.*, 2005). Alors que les impacts sont souvent quantifiés (p. ex., pourcentage d'augmentation de la productivité, pertes de revenus), ce n'est pas le cas de la vulnérabilité (Füssel et Klein, 2006), qui cherchent plutôt à mieux saisir les processus en cause et les facteurs susceptibles d'intervenir. Les influences sociales et biophysiques changent facilement dans le temps et dans l'espace (Adger, 2006). Il en résulte que la vulnérabilité est généralement caractérisée, plutôt que mesurée même si des améliorations dans la quantification du concept sont en cours (*voir* Adger, 2006).

ENCADRÉ 1

Adaptation et atténuation

Il y a deux catégories de mesures qui peuvent être prises face au changement climatique : les mesures d'atténuation et les mesures d'adaptation. Dans la documentation sur le changement climatique, ces deux termes sont définis de façon claire et distincte, et présentent des différences fondamentales (*voir* le tableau 1). L'atténuation concerne seulement une « intervention ***anthropique*** cherchant à réduire les sources ou augmenter les puits de gaz à effet de serre » (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). Comme l'atténuation vise à réduire ou à prévenir des changements dans le ***système climatique***, elle cible les causes du changement climatique (Schipper, 2006).

L'adaptation, au contraire, vise les conséquences du changement climatique (Schipper, 2006) et tente d'en réduire ou d'en prévenir les impacts sur les systèmes humains et naturels.

Malgré la distinction entre les deux termes, l'adaptation et l'atténuation sont codépendantes. Les mesures d'atténuation, en ralentissant la vitesse et l'ampleur des changements du système climatique, ont une incidence sur la demande de stratégies d'adaptation ainsi que sur leur potentiel de réussite. Plus les changements seront d'un ordre de grandeur important, plus il faudra de l'adaptation; et plus les changements seront rapides, plus l'adaptation sera difficile. En outre, certaines actions peuvent être considérées comme des mesures à la fois d'atténuation et d'adaptation. Planter des arbres en milieu urbain, par exemple, permet d'augmenter les puits de gaz à effet de serre (atténuation) et de refroidir les environs (adaptation au réchauffement). Cette codépendance prouve qu'il est nécessaire d'élaborer des politiques sur le changement climatique qui visent les deux types de mesures en même temps (Mendelsohn, 2006).

Alors que la distinction terminologique entre l'adaptation et l'atténuation est claire dans le milieu s'intéressant au changement climatique, tous les domaines n'emploient pas ces termes de la même façon. Celui des risques naturels, par exemple, a longtemps employé « atténuation » pour parler des actions qui réduisent les conséquences des risques naturels. Dans celui de l'aménagement du territoire, les efforts en vue de réduire les développements dans les plaines inondables seraient considérés comme une mesure d'atténuation pour les chercheurs du domaine des risques naturels, mais comme une mesure d'adaptation dans le contexte du changement climatique.

TABLEAU 1 : Caractéristiques de l'atténuation et de l'adaptation (*établies d'après* Füssel et Klein, 2006).

Caractéristique	Adaptation au changement climatique	Atténuation du changement climatique
Systèmes qui en bénéficient	Certains systèmes	Tous les systèmes
Échelle de l'effet	Locale à régionale	Mondiale
Durée	Années à siècles	Siècles
Efficacité	Généralement moins certaine	Certaine
Avantages connexes	La plupart du temps	Quelquefois
Suivi	Plus difficile	Relativement facile

cas, les mesures anticipatoires qui ont été planifiées seront moins coûteuses à long terme et plus efficaces que les mesures réactionnelles. Par contre, il y a des risques à appliquer des mesures d'adaptation relatives à un avenir incertain, dont les coûts de renonciation (l'utilisation de ressources qui, autrement, auraient pu être employées pour des priorités concurrentielles) et la possibilité d'avoir une ***mauvaise adaptation*** (voir Mendelsohn, 2006).

De nombreux groupes, dont des particuliers, des organisations, des industries et tous les ordres de gouvernement, participent à faciliter l'adaptation, de même qu'à choisir et à appliquer des mesures spécifiques d'adaptation. Ces mesures sont très variées et peuvent inclure des changements de comportement, des modifications en matière d'opérations, des interventions technologiques, de même que la révision des pratiques de planification et d'investissement, ainsi que des législations. Un des rôles des gouvernements est de fournir des renseignements et des ***outils***, en plus d'établir des cadres d'action susceptibles de promouvoir les mesures d'adaptation (Stern, 2006).

Beaucoup d'études sur les impacts du changement climatique offrent une liste de stratégies d'adaptation potentielles, qui en illustre la diversité. De nombreux exemples sont présentés dans les chapitres consacrés aux régions de la présente étude. Néanmoins, les exemples ne sont qu'un point de départ pour l'analyse. Avant de prendre des décisions concernant la meilleure mesure d'adaptation à prendre pour contrer un impact spécifique, ou une série d'impacts, il faut comprendre le processus d'adaptation et les concepts qui s'y rattachent – ***vulnérabilité***, capacité d'adaptation et ***résilience*** (*voir* les sections 2.2 à 2.4). L'adaptation ne sera pas seulement une réponse au changement climatique, elle devra aussi tenir compte de différents facteurs, lesquels peuvent donner naissance tant à des synergies qu'à des conflits. Une attention particulière doit être apportée à la faisabilité, à la probabilité et aux mécanismes d'adoption des stratégies d'adaptation. Il y a certaines questions essentielles à poser, notamment (Smit et Wandel, 2006) : « Qu'est-ce qui peut être fait au niveau pratique ? » « Qui le fera ? » « Comment cela sera-t-il mis en œuvre ? » Les recherches portant sur ces questions sont actuellement rares dans le domaine du changement climatique (Smit et Wandel, 2006).

2.2 VULNÉRABILITÉ

Dans les ouvrages consacrés au changement climatique, la vulnérabilité se définit comme étant le degré selon lequel un ***système*** risque de subir ou de tolérer les effets néfastes du changement climatique (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). Le ***Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*** (GIEC) précise que la « vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme

TABLEAU 2 Différents types d'adaptation *(extrait modifié tiré de* Smit *et al.*, 1999).

ADAPTATION			
Selon	**Type d'adaptation**		
L'intention	Spontanée		Planifiée
L'action (par rapport au stimulus climatique)	Réactive	Simultanée	Préventive
L'étendue temporelle	A court terme		A long terme
L'étendue spatiale	Localisée		Étendue

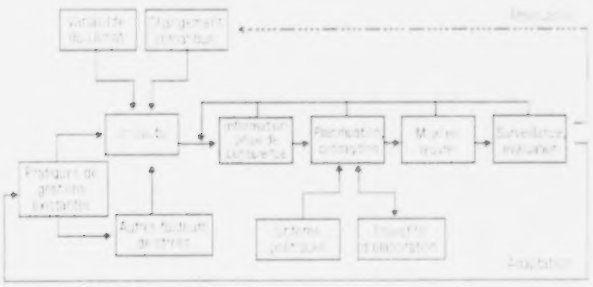


FIGURE 1 : Cadre conceptuel indiquant (dans la partie ombrée) les étapes pour planifier l'adaptation au changement et à la variabilité climatiques (tiré de Klein *et al.*, 2006).

des ***variations climatiques*** auxquels un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité et capacité d'adaptation » (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). La vulnérabilité présente donc à la fois une dimension externe, l'exposition au climat et des caractéristiques internes au système à l'étude, soit la sensibilité et la capacité d'adaptation (Fussel et Klein, 2006). Il faut aussi comprendre les processus biophysiques et socioéconomiques en jeu (Adger, 2006).

Ainsi, l'évaluation de la vulnérabilité d'une exploitation agricole au changement climatique nécessite que l'on comprenne la façon dont le climat devrait changer (p. ex., températures plus élevées, ***sécheresses*** plus fréquentes), la sensibilité du système à ces changements (p. ex., la relation entre le rendement de culture et la température ou la sécheresse) et la possibilité pour le système de s'adapter aux changements (p. ex., en plantant des cultures différentes, en irriguant). Même si l'exploitation agricole peut être très sensible au changement climatique, puisque le rendement des cultures est fortement régi par la température et la sécheresse, le système ne serait pas considéré comme très vulnérable si des mesures d'adaptation efficaces, telles que planter des cultures plus résistantes à la sécheresse, étaient faciles à mettre en œuvre.

L'exemple ci-dessus illustre trois autres aspects importants de la vulnérabilité. Premièrement, par définition, la vulnérabilité met l'accent sur les impacts négatifs, c'est-à-dire « les effets défavorables du changement climatique » (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). Il est cependant accepté que le changement climatique aura des avantages aussi bien que des impacts négatifs. Dans cet exemple, les températures plus élevées peuvent aussi se traduire par de meilleurs rendements de culture. De ce fait, un des autres objectifs de l'adaptation est de faire des ajustements pour mieux tirer profit des avantages que peut présenter le changement climatique. Deuxièmement, les aspects du changement climatique les plus importants pour la prise de décisions éclairées concernant l'adaptation sont rarement ceux qui retiennent le plus l'attention au cours des discussions sur les paramètres du climat : les changements des températures et des précipitations moyennes. Dans l'exemple mentionné, il faudrait également prendre davantage en considération les paramètres suivants dans le cas de rendements de culture : le moment de survenue des précipitations, l'occurrence d'épisodes de pluies extrêmes, les degrés-jours de croissance et la sévérité de sécheresses. Troisièmement, et d'ailleurs l'aspect le plus important, lorsque la vulnérabilité d'un système est considérée comme relativement faible à cause de sa forte capacité d'adaptation, ce dernier peut tout de même subir d'importantes conséquences si des mesures d'adaptation ne sont pas appliquées. Dans l'exemple, si l'exploitant continuait à planter les mêmes cultures sans faire d'ajustements, il pourrait subir de graves conséquences ou ne pas être en mesure de tirer profit de nouvelles occasions.

Reconnaître la nécessité de prendre en considération la capacité d'adaptation des systèmes est ce qui distingue la vulnérabilité de la sensibilité. La sensibilité ne tient pas compte de l'effet modérateur de l'adaptation, alors que la vulnérabilité peut être vue sous l'angle des conséquences qui subsistent après le recours aux mesures d'adaptation. Les premières études sur les impacts du changement climatique mettaient souvent l'accent sur la sensibilité, alors qu'on accepte maintenant que les mesures d'adaptation auront une grande influence sur l'ampleur des impacts du changement climatique. En effet, des chercheurs ont fait remarquer que « les études sur les conséquences du changement climatique sont sans intérêt si la vaste gamme d'options dont on dispose en matière d'adaptation n'est pas prise en considération » (Adger et Kelly, 1999 [traduction]). La plupart des études les plus récentes sont axées sur l'évaluation de la vulnérabilité, et non de la sensibilité.

Évaluer la vulnérabilité demande que l'on considère les principaux stress, tant climatiques que non climatiques, qui s'exercent sur un système ou une région, de même que les influences des conditions socio-économiques sur la capacité d'adaptation (*voir* la section 2.3; Fussel et Klein, 2006). On reconnaît généralement que la participation des ***intervenants*** est une première étape essentielle dans le processus d'évaluation des études de la vulnérabilité (Lim *et al.*, 2005). Alors que les impacts sont souvent quantifiés (p. ex., pourcentage d'augmentation de la productivité, pertes de revenus), ce n'est pas le cas de la vulnérabilité (Fussel et Klein, 2006), qui cherchent plutôt à mieux saisir les processus en cause et les facteurs susceptibles d'intervenir. Les influences sociales et biophysiques changent facilement dans le temps et dans l'espace (Adger, 2006). Il en résulte que la vulnérabilité est généralement caractérisée, plutôt que mesurée même si des améliorations dans la quantification du concept sont en cours (*voir* Adger, 2006).

2.3 CAPACITÉ D'ADAPTATION

Dans le domaine du changement climatique, on entend par « capacité d'adaptation » « le potentiel, les moyens ou la capacité d'un système à s'adapter aux stimuli du changement climatique ou à ses effets ou impacts » (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). Le terme « système » a un sens large qui comprend tous les niveaux et les types d'unités, notamment les régions, les collectivités, les secteurs économiques, les ***institutions*** et les entreprises privées.

L'expression « capacité d'adaptation » est relativement nouvelle dans le milieu de la recherche sur le changement climatique, apparaissant pour la première fois dans la documentation scientifique en 1999 environ et n'étant citée fréquemment qu'à partir de 2003. L'adoption et l'utilisation de l'expression ont probablement été popularisées par la publication du *Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* (2001) qui, dans le chapitre 18 intitulé *Adaptation in the Context of Sustainable Development and Equity* (Adaptation dans le contexte du développement durable et de l'équité; Smit *et al.*, 2001), explique le concept en détail. L'adaptation et la capacité d'adaptation sont étroitement liées (*voir* l'encadré 2), et l'amélioration de la capacité d'adaptation est une mesure d'adaptation de type « ***sans regrets*** », qui offre des avantages quels que soient les changements du climat. Les stratégies visant à améliorer la capacité d'adaptation sont donc un bon moyen de passer à l'action, malgré les incertitudes entourant les prévisions climatiques (Smit et Pilifosova, 2003). En augmentant la capacité d'adaptation, on réduit des facteurs de stress, dont la vulnérabilité au climat actuel et futur.

Lorsqu'on parle de la capacité d'adaptation, il faut se poser deux questions : « La capacité d'adaptation de quoi? » « La capacité d'adaptation à quoi ? » (Smit *et al.*, 1999). On peut prendre en considération, par exemple, la capacité d'adaptation d'une ferme (système) à un climat plus aride (changement climatique), ou encore celle d'une collectivité (système) à des vagues de chaleur plus fréquentes (changement climatique). La capacité d'adaptation est influencée par un certain nombre de déterminants d'ordre spécifique selon l'endroit, qui dépendent de l'état social, économique et institutionnel du système ou de la région à l'étude (*voir* la figure 2). Les déterminants agissent pour réduire ou améliorer la possibilité de s'adapter (Kelly et Adger, 2000), et ils varient à la fois selon l'endroit et le temps (Smit *et al.*, 2001).

Les expériences vécues agissent clairement sur la capacité d'adaptation. Vivant dans un climat très variable, les Canadiens ont une capacité d'adaptation plus grande au changement climatique. Un événement unique peut avoir des incidences tant positives que négatives sur la capacité d'adaptation (Smit *et al.*, 2001).

L'expérience acquise lors d'une récente ***onde de tempête***, par exemple, devrait permettre de mieux se préparer à d'autres événements semblables, et donc d'accroître la capacité d'adaptation. Par contre, si la même tempête a épuisé les ressources disponibles pour aider les sinistrés, la capacité d'adaptation pourrait être diminuée jusqu'à ce que les coffres soient regarnis. Les expériences vécues peuvent également jouer un rôle dans la perception des ***risques***, aux niveaux individuel et institutionnel, phénomène qui agit lui aussi sur la probabilité de recours à une adaptation proactive (Grothmann et Patt, 2005).

La capacité d'adaptation est difficile à mesurer. Des indicateurs indirects, tels que le revenu par habitant, le niveau de scolarité et la densité de la population, ont été utilisés dans le cas de certains déterminants (Yohe et Tol, 2002), mais d'autres sont plus complexes à évaluer. En outre, même si c'est au niveau local que la capacité d'adaptation prend tout son sens, à cause de la nature des données disponibles, elle n'est souvent évaluée qu'aux niveaux national et régional (Yohe et Tol, 2002).

Aux fins de la présente évaluation, les auteurs se sont concentrés sur la caractérisation des facteurs qui agissent sur la capacité d'adaptation dans leur région, s'attaquant également dans certains cas à la caractérisation au niveau du système (sous-régions ou secteurs). Même si l'étude de la capacité d'adaptation à l'échelle

ENCADRÉ 2

Faire la différence entre l'adaptation et la capacité d'adaptation

Les termes de « capacité d'adaptation » et « d'adaptation », même s'ils sont liés, sont bien distincts dans la documentation sur le changement climatique. La capacité d'adaptation est une caractéristique d'un système qui indique son aptitude à s'adapter efficacement au changement. Un système doté d'une grande capacité d'adaptation serait capable de faire face aux changements du climat, et peut-être même d'en tirer profit, alors qu'un système de faible capacité d'adaptation serait plus susceptible de souffrir des mêmes changements. L'adaptation, quant à elle, se rapporte à un processus ou à une action spécifique.

Accroître la capacité d'adaptation fait partie des stratégies d'adaptation (Brooks *et al.*, 2005), et un système avec de nombreuses options d'adaptation a généralement une plus grande capacité de s'adapter qu'un système n'en ayant que peu ou pas (Yohe et Tol, 2002). Certains pensent que la capacité d'adaptation peut être vue comme un potentiel d'adaptation et, lorsque la capacité d'adaptation est utilisée à cette fin, la vulnérabilité s'en trouve réduite (Brooks, 2003).

FIGURE 2 : Déterminants de la capacité d'adaptation (*extrait modifié tiré de* Smit *et al.*, 2003).

locale est rare dans la documentation sur le changement climatique, il est possible de tirer de précieux enseignements des analyses provenant d'autres domaines, notamment ceux de la planification en cas d'urgence, du développement et de la diversification de l'économie, de même que de la ***sécurité alimentaire***. Bien qu'elles dépassent généralement la portée de la présente évaluation, de telles analyses présentent une bonne voie à suivre pour les recherches futures sur les impacts et l'adaptation (*voir* le chapitre 10).

2.4 RÉSILIENCE

On entend par résilience «l' ampleur du changement dont un système peut être l'objet sans changer d'état » (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). Le terme n'est pas employé aussi souvent dans la documentation sur le changement climatique que « capacité d'adaptation » ou « vulnérabilité ». Les études qui l'utilisent parlent généralement davantage des systèmes naturels que des systèmes humains, probablement à cause des racines du terme provenant du domaine de l'écologie. Certains chercheurs ont modifié la terminologie pour l'utiliser spécifiquement dans le contexte d'études portant sur le changement climatique et parlent maintenant de « résilience écosociale » et de « résilience sociale-écologique » (p. ex., Adger, 2006).

Ainsi que précédemment mentionné, presque toute la terminologie concernant les impacts et l'adaptation continue d'évoluer. À un certain moment, le terme « résilience » était employé de façon interchangeable avec « capacité d'adaptation ». Les deux termes désignent une caractéristique d'un système qui décrit sa capacité à faire face aux facteurs de stress externes, et chacun peut être limité ou amélioré par des facteurs internes ou externes. Par contre, étant donné que la définition de « résilience » suppose une caractéristique inhérente des systèmes à rester dans leur état actuel et à présenter les mêmes fonction et structure (Walker *et al.*, 2004), cela peut aller à l'encontre des buts de l'adaptation, où les changements sont considérés comme des conséquences inévitables d'un climat en évolution.

La définition de « résilience » introduit deux concepts apparentés qui sont importants pour l'adaptation : « ***plages de tolérance*** » et « ***seuils*** ». On entend par « plage de tolérance » la variation du climat qu'un système peut subir sans qu'il y ait d'impacts significatifs. Les mesures d'adaptation ajusteront la plage et auront un effet similaire sur le niveau de résilience (*voir* la figure 3). Un « seuil » est le stade auquel surviennent des impacts significatifs, c'est-à-dire lorsque les limites de la plage de tolérance sont outrepassées, ou auquel le système connaît un changement d'état, c'est-à-dire lorsque la résilience est dépassée. Définir les seuils des systèmes naturels est un des objectifs principaux de beaucoup d'études sur les impacts du changement climatique (International Scientific Steering Committee, 2005), alors que comprendre les seuils propres aux systèmes humains peut s'avérer l'élément clé de la prise de décisions éclairée concernant l'adaptation. Walker et Meyers (2004), par contre, se sont demandés si les seuils peuvent être établis avant d'être dépassés et n'ont trouvé aucun exemple, dans la littérature publiée, de seuils qui avaient été prévus.

2.5 TECHNOLOGIES AUX FINS D'ADAPTATION

La technologie est souvent mentionnée comme une solution essentielle aux problèmes que pose le changement climatique. Cela s'applique particulièrement dans le cas de l'atténuation, où une gamme de nouvelles technologies ou de technologies en voie de développement pourrait permettre la découverte d'énergies de remplacement, la séquestration des gaz à effet de serre et

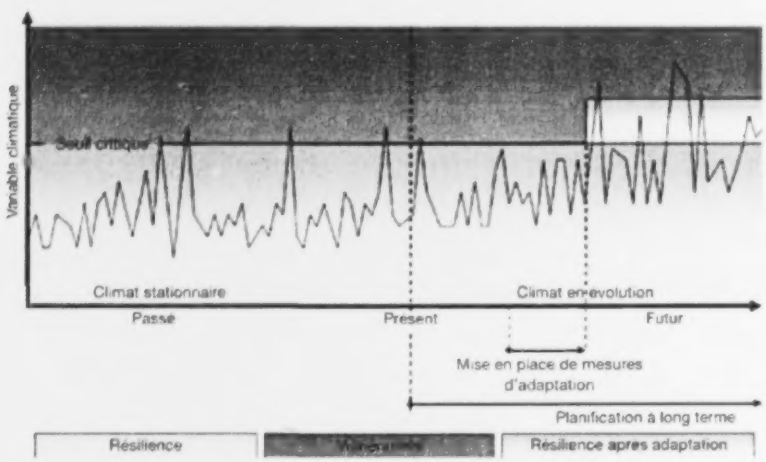


FIGURE 3 : L'adaptation augmentera la plage de tolérance, rendant les systèmes plus résilients et donc moins vulnérables au changement climatique (*extrait modifié tiré* de Smit *et al.*, 1999).

l'amélioration de l'efficacité énergétique. La technologie jouera également un rôle dans l'adaptation (United Kingdom Climate Impacts Programme, 2005). L'accès à des technologies, et leur utilisation, est couramment mentionné comme un déterminant de la capacité d'adaptation. L'utilisation de technologies pour la conservation de l'eau, par exemple, peut améliorer la capacité à faire face aux impacts du changement climatique sur l'approvisionnement en eau (*voir* le chapitre 7). Les buts des technologies utiles à l'adaptation sont notamment d'améliorer la résilience et la souplesse, de prévenir des dommages additionnels et de réduire les coûts.

Même si peu de recherches ont mis l'accent sur le rôle actuel de la technologie dans l'adaptation au changement climatique, le concept de « ***technologies utiles à l'adaptation*** » a fait l'objet d'une étude approfondie par Klein *et al.*, (2006). L'expression elle-même, contrairement à « technologies d'adaptation », veut dire que de nombreuses technologies pouvant être utilisées aux fins d'adaptation au changement climatique ont été élaborées à des fins qui ne sont pas nécessairement directement liées au changement climatique. En ce qui concerne l'atténuation, on vise la mise au point de nouvelles technologies, alors que l'adaptation privilégie le transfert de technologies existantes qui sont ensuite ajustées pour satisfaire aux besoins locaux. Dans la documentation traitant du changement climatique, la définition du terme est habituellement très large. On parle, par exemple, « d'une pièce d'équipement, d'une technique, d'une connaissance pratique ou de compétences permettant d'accomplir une tâche particulière » (Metz *et al.*, 2000 [traduction]), ce qui inclut donc virtuellement toutes les options d'adaptation possibles. En règle générale, on fait une distinction entre les technologies « dures » et les technologies « douces », les premières étant des produits physiques et les secondes, des pratiques et des méthodes de planification. Les stratégies d'adaptation fructueuses incluront habituellement des technologies dures et douces (Klein *et al.*, 2006). D'autres distinctions peuvent être établies entre les technologies traditionnelles, contemporaines, hautes et futures (Klein *et al.*, 2006). Dans la présente évaluation, le terme « technologies » s'applique en général aux technologies dures.

2.6 SCÉNARIOS

Un ***scénario*** est une « description cohérente, structurée et vraisemblable d'un état futur possible du monde » (Parry et Carter, 1998 [traduction]). Il ne s'agit pas d'une prédiction, les termes « prévision » et « prédiction » désignant un futur plus probable. Un scénario est plutôt une représentation, parmi d'autres, d'un futur possible. Les scénarios climatiques et socioéconomiques fournissent des données pour analyser les impacts, la vulnérabilité et les mesures d'adaptation. Ils constituent un point de départ pour guider et étudier les conséquences des décisions en matière d'adaptation et d'atténuation, ainsi qu'en vue de sensibiliser la population aux problèmes du changement climatique. En proposant un éventail de futurs possibles, les scénarios font en sorte que l'on peut tenir compte des ***incertitudes*** associées aux différentes voies que peut emprunter le développement et établir les conséquences liées aux futurs changements d'ordre climatique, social et économique. Dans le cas des scénarios nationaux et régionaux couvrant une période supérieure à 30 ans, on a prêté une attention particulière à l'élaboration des ***scénarios climatiques***, alors que les scénarios socio-économiques sont peu étoffés malgré le lien direct entre les deux.

Scénarios climatiques

La plupart des scénarios climatiques proviennent des données de sortie des ***modèles climatiques***, habituellement des ***modèles de circulation générale à couplage atmosphère-océan*** (MCGAO, *voir* l'encadré 3). La pratique standard actuelle dans l'élaboration de scénarios est de calculer les changements entre la moyenne sur 30 ans (p. ex., 2040 à 2069) des prédictions de MCGAO et des conditions de ***référence*** (actuellement 1961 à 1990), et d'appliquer ces changements aux données d'observation. Les changements sont habituellement exprimés comme de simples différences dans le cas de la température, et les différences entre les précipitations sont exprimées en pourcentage. On calcule une moyenne sur 30 ans pour les données de sortie des modèles à la fois pour les conditions de base et les périodes futures, dans le but de s'assurer que la tendance du changement climatique à long terme est bien rendue. On entend par scénarios du changement climatique, ou champs de changement, les changements établis à partir des MCGAO. Un scénario climatique se compose des données résultant de l'application des champs de changement aux données climatiques constatées et représente une information sur le climat de la période future en question (p. ex., les années 2050).

En raison des incertitudes entourant les projections du climat (*voir* l'encadré 3), il est essentiel que les études sur les impacts et l'adaptation prennent en considération une variété de scénarios de changement climatique. L'utilisation des scénarios climatiques dans la présente évaluation est expliquée à la section 5.3. Pour de plus amples renseignements à ce sujet, les lecteurs peuvent consulter l'évaluation des scénarios portant sur les répercussions climatiques réalisée par le Groupe de travail du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (1999).

Scénarios socio-économiques

Les conditions sociales et économiques ne resteront pas stables à mesure que le climat changera, et comprendre la nature probable des changements socio-économiques est important si l'on cherche à caractériser la vulnérabilité au changement climatique. Ces scénarios, qui renferment de l'information sur la population et le développement humain, les conditions économiques, la couverture terrestre et l'utilisation des terres, et la consommation d'énergie, fournissent des renseignements précieux qui permettent une meilleure compréhension de la capacité d'adaptation. Les scénarios socio-économiques à l'échelle planétaire, qui vont jusqu'à 2100, sont le point de départ du rapport spécial sur les scénarios d'émissions intitulé *Special Report on Emissions Scenarios*, commandé par le GIEC (*voir* l'encadré 3; Carter *et al.*, 2001). Il n'est cependant pas certain que ces scénarios puissent être ramenés à une échelle suffisamment petite pour que l'on puisse étudier les impacts et les mesures d'adaptation. Des prédictions socio-économiques à l'échelle nationale et régionale peuvent être plus pertinentes pour ce genre d'études.

ENCADRÉ 3

Modélisation du climat

Modèles de circulation générale à couplage atmosphère-océan (MCGAO)[2]

La complexité extrême du système climatique terrestre, qui comprend des interactions dynamiques entre l'atmosphère, les océans, la **cryosphère**, la surface des terres et la biosphère, nécessite l'utilisation de modèles de la circulation générale à couplage atmosphère-océan (MCGAO) très complexes pour prévoir le changement climatique à venir. Ces modèles sont des représentations mathématiques en trois dimensions des processus physiques à grande échelle du système Terre-atmosphère-océan-surface des terres, qui offrent une vue complète et intrinsèquement cohérente du changement climatique à venir. Dans les MCGAO, le système climatique de la planète est divisé en un réseau quadrillé de cubes interconnectés, et les processus physiques qui régissent le système sont représentés par des équations mathématiques fondamentales décrivant la conservation de la quantité de mouvement, de la masse et de l'énergie. Des effets de ***rétroaction*** en jeu dans le système climatique, tels que ceux qui interviennent entre la neige et la glace et la réflectivité sur la surface de la Terre (***albédo***), sont inclus dans ces modèles, même si certains processus de rétroaction ne sont pas complètement spécifiés et qu'ils sont médiocrement quantifiés.

Pour prévoir le climat à venir, on doit alimenter les MCGAO avec des renseignements sur la composition future de l'atmosphère. L'évolution des concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols dépend d'une foule de facteurs, dont la croissance de la population, l'activité économique, de même que l'utilisation d'énergie et de technologies. On appelle « ***scénarios d'émissions*** » les scénarios qui rendent compte de toutes les situations possibles en ce qui concerne les émissions. Pour son *Troisième rapport d'évaluation*, le GIEC a commandé un rapport spécial sur les scénarios d'émissions, en décrivant une quarantaine (Carter *et al.*, 2001). Six d'entre eux sont considérés comme des « scénarios repères » dont l'emploi est recommandé par les spécialistes de l'élaboration de modèles climatiques, soit les scénarios A1FI, A2, A1B, B2, A1T et B1 (présentés en ordre décroissant de forçage radiatif d'ici 2100). Aux extrêmes, le scénario A1F1 décrit un monde où les combustibles fossiles sont utilisés intensivement, où il y a une très rapide croissance économique, une population mondiale qui atteint son sommet vers 2050 et une introduction rapide de nouvelles technologies. Quant au scénario B1, il décrit un monde convergent où la population atteint aussi son sommet vers 2050, mais où il y a de rapides changements économiques vers une économie de services et de l'information, de même que l'introduction de technologies écologiques et écoénergétiques (Carter *et al.*, 2001). Les meilleures estimations et les plages probables des changements de températures et de l'***élévation du niveau de la mer*** moyennés à l'échelle de la planète pour chacun de ces scénarios repères sont illustrées au tableau 3.

L'incertitude quant aux prévisions climatiques augmente avec le temps. Les scénarios d'émissions représentent une source particulière d'incertitude, liée aux futures voies de développement. Même si cette incertitude ne peut être évitée, il est important de mentionner que les scénarios d'émissions ne deviennent une source d'incertitude importante qu'après 2030 (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Une autre source d'incertitude tient des différences entre les MCGAO, et la façon dont les processus physiques et les rétroactions sont simulés. Ces disparités font que les différents MCGAO simulent des valeurs différentes de réchauffement planétaire par unité de changement propre au forçage radiatif. De nouvelles façons de traiter les incertitudes ont vu le jour depuis 2001 (Solomon *et al.*, 2007).

Modèles climatiques régionaux (MCR)

Les données issues des modèles climatiques régionaux ont une résolution spatiale plus élevée, c'est-à-dire plus détaillée que celle des MCGAO, puisqu'un MCR à résolution élevée est emboîté dans un MCGAO à résolution plus faible. Comme les MCR s'appuient sur les données du MCGAO, ils peuvent comporter les mêmes erreurs systématiques (Institut canadien d'études climatologiques, 2002). Un de leurs avantages, par contre, réside dans le fait qu'ils fournissent de l'information de nature spatiale plus détaillée et dont l'échelle convient ainsi mieux aux études sur les impacts du climat (Laprise *et al.*, 1998). Actuellement, les sorties de MCR ne sont disponibles par contre que pour un nombre limité de combinaisons de MCGAO et de scénarios d'émissions, et elles ne couvrent généralement pas une gamme complète d'avenirs vraisemblables. Toutefois, les travaux dans ce domaine évoluent rapidement puisque l'analyse et la quantification de la confiance et de l'incertitude associées aux MCR représentent aujourd'hui un domaine de recherche très important (Caya, 2004; Déqué *et al.*, 2005; Plummer *et al.*, 2006).

Au Canada, les chercheurs ont accès à une quantité limitée de données provenant du modèle régional canadien du climat (MRCC), par l'entremise du Centre canadien de modélisation et de l'analyse climatique (*voir* http://www.cccma.ec.gc.ca/french/models/crcm.shtml). Laprise *et al.*, (2003) et Plummer *et al.* (2006) traitent également de la sensibilité et de la validation du modèle. Le consortium Ouranos fournit des services d'aide à l'élaboration du MRCC et a utilisé des scénarios fondés sur les MCR pour analyser les impacts du changement climatique (*voir* le chapitre 5).

[2] *Également appelés modèles climatiques planétaires ou modèles de circulation générale (MCG).*

TABLEAU 3 : Influence du scénario sur les changements de températures et l'élévation du niveau de la mer projetés. *Source* : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2007a).

Cas	Changement dans la température (°C pour 2090-2099 par rapport à 1980-1999)[a]		Élévation du niveau de la mer[b] (m pour 2090-2099 par rapport à 1980-1999)
	Meilleure estimation	Plage de probabilité	Plage couverte par les modèles, excluant des changements dynamiques futurs rapides dans l'écoulement de la glace
Concentrations constantes durant l'année 2000[c]	0.6	0.3 - 0.9	s.o.
Scénario B1	1.8	1.1 - 2.9	0.18 - 0.38
Scénario A1T	2.4	1.4 - 3.8	0.20 - 0.45
Scénario B2	2.4	1.4 - 3.8	0.20 - 0.43
Scénario A1B	2.8	1.7 - 4.4	0.21 - 0.48
Scénario A2	3.4	2.0 - 5.4	0.23 - 0.51
Scénario A1FI	4.0	2.4 - 6.4	0.26 - 0.59

[a] Ces estimations sont évaluées selon une hiérarchie de modèles qui comprennent un modèle climatique simple, plusieurs modèles de complexité intermédiaire du système Terre (MCIST) et un grand nombre de modèles de circulation générale à couplage atmosphère-océan (MCGAO).

[b] Les estimations de l'élévation du niveau de la mer sont fondées sur les taux d'écoulement constatés au Groenland et en Antarctique de 1993 à 2003. Ceux-ci peuvent augmenter ou diminuer dans le futur. S'ils devaient croître de façon linéaire avec l'élévation de la température planétaire moyenne, les plages supérieures du tableau augmenteraient de 0.1 à 0.2 m.

[c] La composition constante au niveau de l'année 2000 a seulement été tirée des MCGAO.

3 SCIENCE DU CLIMAT

La science du climat est un aspect intrinsèque et important lorsqu'on se penche sur la question de la vulnérabilité. Comprendre pourquoi et comment le climat est en train de changer est essentiel pour composer avec le changement climatique. Chaque chapitre à caractère régional de la présente évaluation considère le climat actuel, les tendances climatiques récentes et les projections du climat de la région comme des données dans l'analyse de la sensibilité et de la vulnérabilité. La présente section vient compléter ces chapitres en offrant un résumé des causes du changement climatique ainsi que des indications des récents changements mondiaux et des changements à venir. Le changement climatique au Canada est présenté en détail dans la section 4.3. Pour de plus amples renseignements, les lecteurs peuvent consulter le rapport *Une introduction au changement climatique – Une perspective canadienne* (Hengeveld *et al.*, 2005), de même que les rapports plus techniques préparés par le Groupe de travail I du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2001c, 2007a).

3.1 MOTEURS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les moteurs du changement climatique comprennent à la fois des facteurs naturels, tels que l'orbite solaire, les cycles des taches solaires et les éruptions volcaniques, et des facteurs de nature anthropique, notamment les émissions de gaz à effet de serre. Ces moteurs ont une incidence sur la quantité d'énergie que la Terre reçoit du Soleil et sur la quantité qui en est retenue dans l'atmosphère et les océans, entraînant des changements dans tous les éléments du climat, dont la température, les précipitations et la circulation atmosphérique.

Les moteurs interviennent à diverses échelles de temps. Les changements de certains facteurs (p. ex., l'orbite de la Terre autour du Soleil) s'effectuent sur des dizaines ou des centaines de milliers d'années, alors que d'autres (p. ex., les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre et d'aérosols volcaniques) surviennent en moins de temps. Pour des échelles de temps de quelques dizaines ou centaines d'années, les moteurs à long terme, comme la variation de l'orbite, ne sont pas pertinents puisque, malgré l'ampleur de ces changements du climat lorsqu'ils s'accumulent sur des millénaires, la vitesse de changement au cours d'un siècle est très lente, soit environ 0,1 °C ou moins par siècle.

Depuis le milieu du XX^{e} siècle, les activités humaines, dont la combustion de combustibles fossiles et les changements dans l'utilisation des terres, sont la principale cause du changement climatique (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Cette tendance devrait se poursuivre au cours du présent siècle, et encore davantage, ce qui mènera à une vitesse de réchauffement planétaire plus rapide que ce qui a été vécu depuis plusieurs milliers d'années (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

Changements paléoclimatiques

Au cours des deux derniers millions d'années et demi, le climat de la Terre a été dominé par de grandes fluctuations entre des périodes glaciaires et interglaciaires. Même si les températures moyennes à la surface de la planète pendant les périodes glaciaires n'étaient que d'environ 4 à 6 °C inférieures que durant les périodes interglaciaires chaudes, ces changements ont suffi à modifier le paysage du Canada, qui est passé d'un endroit presque entièrement couvert d'inlandsis au biome accueillant d'aujourd'hui. La dernière période de déglaciation mondiale a commencé il y a environ 20 000 ans, et des conditions totalement interglaciaires dominent le climat depuis 10 000 ans. Le meilleur analogue de la phase interglaciaire actuelle, aussi bien en ce qui a trait au forçage climatique qu'au type de changement paléographique, est celui qui est survenu il y a près de 400 000 ans (European Project for Ice Coring in Antarctica community members, 2004). Une comparaison entre les deux périodes semble indiquer que le climat présent, s'il continuait à évoluer naturellement, pourrait durer encore 20 000 ans ou plus avant la prochaine époque glaciaire.

On pense que les changements en matière d'insolation, phénomène causé par des variations de l'orbite de la Terre autour du Soleil, sont un des principaux moteurs du changement climatique lors des cycles glaciaires-interglaciaires. Ces variations incluent le cycle de 100 000 ans de la forme (excentricité orbitale) de l'orbite de la Terre (d'une ellipse à un cercle, avant de revenir à sa forme de départ), le cycle de 42 000 ans de l'angle (obliquité) de son axe de rotation par rapport à l'orbite, ainsi que les cycles de 22 000 ans et de 19 000 ans de la précession (effet toupie). La reconstitution des changements dans la composition de l'atmosphère au cours des 650 000 dernières années, à partir de carottes extraites d'inlandsis polaires, révèle que les réactions des concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone, de méthane et d'hémioxyde d'azote (trois importants gaz à effet de serre naturels) amplifient significativement les effets climatiques des changements de l'insolation (Hutterli *et al.*, 2005; Spahni *et al.*, 2005).

L'analyse de divers relevés climatiques indirects extraits de carottes de glace polaire, de sédiments marins et d'autres sources semble indiquer que les températures mondiales ont été remarquablement stables au cours des 10 000 dernières années, période appelée « Holocène ». Par contre, ces données indiquent aussi des changements importants dans les climats régionaux, probablement à cause de la variabilité naturelle interne du climat. Il y aurait donc eu une redistribution de la chaleur au sein du système climatique, au lieu d'un changement dans l'énergie totale du système (comme dans le cas de l'augmentation de l'effet de serre).

Forçages anthropiques

Les activités humaines, dont les émissions de gaz à effet de serre (p. ex., de dioxyde de carbone, méthane et hémioxyde d'azote), les émissions d'aérosols (p. ex., sulfates, carbone, nitrates et poussières) et les changements dans l'utilisation des terres (p. ex., déforestation, aménagement) ont une répercussion de plus en plus grande sur le climat mondial. Même si des facteurs naturels peuvent être responsables d'une grande partie du changement climatique qui est survenu à l'échelle planétaire au cours de la première partie du XX^{e} siècle, le réchauffement constaté vers la fin du siècle a principalement été causé par des activités humaines qui ont fait augmenter les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre (*voir* le tableau 4; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001c, 2007a). Depuis 1950, l'effet du forçage radiatif anthropique sur le climat a été environ cinq fois plus important que l'influence des changements du rayonnement solaire (*voir* la figure 4; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat 2007a).

La vitesse d'augmentation des concentrations d'hémioxyde d'azote et de méthane causées par les êtres humains est actuellement stable ou en déclin, mais celle des émissions de dioxyde de carbone (le plus important gaz à effet de serre, doté d'une très haute influence anthropique) continue de croître (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Les principales sources d'émissions de dioxyde de carbone sont les combustibles fossiles (production, distribution et utilisation), la production de ciment, de même que les changements dans l'utilisation des terres, surtout ceux liés aux activités forestières et à l'agriculture.

TABLEAU 4 : Concentrations actuelles et préindustrielles des principaux gaz à effet de serre (*établies d'après* le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

Gaz à effet de serre	Concentration en 2005	Concentration préindustrielle
Dioxyde de carbone	379 ppm	~280 ppm
Méthane	1 774 ppb	~715 ppb
Hémioxyde d'azote	319 ppb	~270 ppb

Les aérosols atmosphériques émis par les activités humaines ont également des conséquences sur le climat, d'une façon à la fois directe (en réfléchissant la lumière du Soleil dans l'espace) et indirecte (à cause de leurs effets sur les propriétés des nuages). Même si leurs effets sont de courte durée, parce qu'ils sont éliminés par la gravité et les précipitations, ils agissent d'une façon importante sur le forçage radiatif à l'échelle continentale ou planétaire. Les aérosols, qui ont un forçage radiatif négatif (effet de refroidissement), ont probablement servi à contrebalancer une partie du réchauffement qui, autrement, aurait été créée par les gaz à effet de serre durant le XX^{e} siècle (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

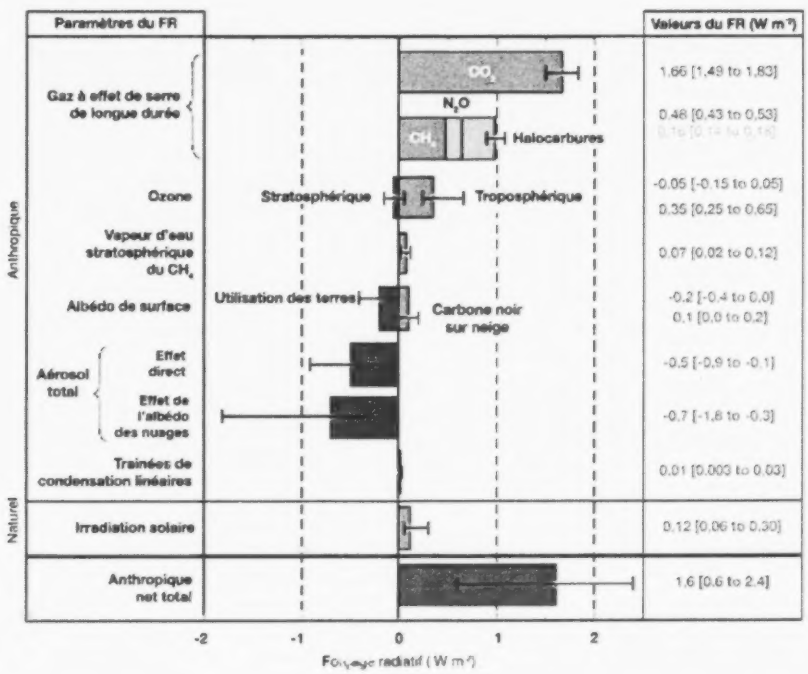


FIGURE 4 : Moyenne mondiale (2005) des composantes du forçage radiatif des agents et des mécanismes importants. *Extrait modifié tiré de* Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2007a).

Rétroactions et interactions

En plus de ces moteurs principaux du changement climatique, le système climatique se caractérise par de nombreuses interactions et rétroactions complexes, à diverses échelles spatiales et temporelles, qui accentuent ou atténuent le changement climatique. Certaines de ces rétroactions sont positives, c'est-à-dire qu'elles augmentent l'ampleur du changement initial, et d'autres sont négatives, c'est-à-dire qu'elles l'atténuent. Le rôle de la vapeur d'eau atmosphérique (qui agit aussi comme un gaz à effet de serre) et des nuages (qui réfléchissent la lumière du Soleil et absorbent le rayonnement thermique réfléchi) est une rétroaction particulièrement importante. Des températures plus élevées augmentent la vitesse d'évaporation superficielle de l'eau et la capacité de l'atmosphère à conserver la vapeur d'eau (rétroaction positive). L'augmentation de la teneur en vapeur d'eau a également des conséquences complexes sur la répartition et les propriétés des nuages, entraînant des rétroactions tant positives que négatives. Une autre rétroaction importante est le changement dans la propriété de réflexion de la surface de la Terre (albédo), qui résulte des changements dans l'étendue des surfaces couvertes par la neige et la glace. Un autre exemple de rétroaction positive qui accentuerait le changement climatique est la possibilité de libération d'importants volumes de méthane en raison de la dégradation du pergélisol et de la décomposition subséquente de matériaux organiques qui étaient gelés (*voir* Hyndman et Dallimore, 2001). Fait intéressant, une autre rétroaction négative est la possibilité de la fonte d'une partie de la couverture de la glace de mer de l'Arctique, permettant aux eaux marines de retirer davantage de CO_2 de l'atmosphère (Bates *et al.*, 2006).

3.2 VARIABILITÉ DU CLIMAT

Les interactions entre l'océan et l'atmosphère, et les changements de la circulation qui leur sont associés, sont la principale cause de la variabilité du climat. Ces changements ne sont pas directement liés à ceux du bilan énergétique mondial, même si des interactions indirectes sont probables. Cette variabilité est principalement naturelle, se reproduisant à des échelles de quelques mois à des décennies, ou même plus. Comme les oscillations modifient les masses de courants d'air chaud et froid et dévient les trajectoires des tempêtes, elles sont souvent la cause de tendances, dans une région ou un endroit, opposées à celles qui caractérisent d'autres régions. Les oscillations causent donc des changements relativement faibles dans un climat à grande échelle, mais leur impact sur le climat régional de différentes parties du Canada peut être considérable.

Les variations climatiques importantes pour le Canada sont notamment :

El Niño-oscillation australe (El Niño-Southern Oscillation ou ENSO) :

Ce régime de variabilité bien connu fait varier les températures en surface de l'océan Pacifique tropical, passant de conditions de type El Niño (températures anormalement chaudes à l'est du Pacifique tropical) à des conditions de type La Niña (eaux de surface beaucoup plus froides dans le Pacifique tropical) d'une façon cyclique, environ une fois tous les trois à sept ans. Durant les années de transition, aucune condition ne domine.

La force des alizés de l'est, sous les tropiques, est étroitement liée au comportement de l'ENSO. De forts épisodes d'El Niño et de La Niña, par contre, peuvent agir sur la circulation atmosphérique et les trajectoires des tempêtes au Canada, et donc sur les régimes de températures et de précipitations. Les impacts les plus évidents se manifestent en Colombie-Britannique, où les épisodes d'El Niño entraînent des conditions plus chaudes et plus sèches que les épisodes de La Niña (*voir* le chapitre 8). Les impacts de l'ENSO sont plus forts en hiver et au printemps, en plus d'être des facteurs importants de la variabilité climatique du pays d'une année à l'autre.

Oscillation décennale du Pacifique (Pacific Decadal Oscillation ou PDO) :

Ce régime de variabilité est très important dans le nord de l'océan Pacifique et a donc une grande influence sur les climats des latitudes moyennes en Amérique du Nord, en particulier dans l'ouest du Canada. On ne comprend pas encore bien ses causes, mais elles sont probablement liées aux processus de circulation océanique. Il n'y a pas assez de données recueillies pour déterminer si l'oscillation décennale du Pacifique est un régime de variabilité permanent, mais deux cycles complets se sont produits au cours du dernier siècle. La phase positive (chaude) du PDO est caractérisée par des eaux côtières chaudes dans le nord-est du Pacifique. En Colombie-Britannique, elle s'accompagne de températures hivernales et printanières légèrement plus élevées et d'effets variés sur les précipitations, alors que la phase négative entraîne des conditions plus froides et humides (*voir* le chapitre 8). L'oscillation a donc eu un impact majeur sur la variabilité du climat presque partout au Canada, et ce, sur des échelles de temps pluridécennales.

Oscillations arctique et nord-atlantique (Arctic Oscillation et North Atlantic Oscillation ou AO et NAO) :

L'oscillation nord-atlantique est un indicateur des différences de pression atmosphérique entre les latitudes hautes et moyennes du nord de l'océan Atlantique. Comme elle est liée au comportement des vents de l'ouest dans l'hémisphère Nord, ses variations ont une incidence sur tout l'hémisphère. À l'inverse, les indices de l'oscillation arctique, également connue sous le nom de « mode annulaire de l'hémisphère » (Northern Annular Mode ou NAM), décrivent la variation dans les régimes de pression autour du pôle Nord. Les deux types d'oscillations semblent étroitement liés. Leurs variations agissent de façon importante sur la variabilité mensuelle et annuelle des climats de l'hémisphère Nord, en plus de présenter de fortes tendances à long terme. Certains signes indiquent que le comportement anormal évident des deux indices au cours des années 1990 pourrait refléter l'influence des êtres humains sur le système de circulation climatique mondial (Hegerl *et al.*, 2007).

[3] Les changements constatés et projetés au Canada sont présentés dans la section 4.3.

3.3 CHANGEMENTS CLIMATIQUES CONSTATÉS ET PROJETÉS (À L'ÉCHELLE MONDIALE[3])

Changements constatés

« Le réchauffement du système climatique est sans équivoque. » (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a [traduction])

Au cours du siècle passé, la planète s'est réchauffée. Le changement se constate dans la hausse des températures mondiales moyennes de l'air et des océans, l'élévation du niveau de la mer et la diminution de la couverture de neige (*voir* la figure 5) et de glace. Les températures plus élevées ont été accompagnées par de nombreux autres changements constatés dans le climat planétaire (*voir* le tableau 5). On estime, par exemple, que le niveau de la mer a monté de 0,17 m (entre 0,12 m et 0,22 m) au cours du siècle passé et que l'augmentation s'est accélérée au cours des dix dernières années (1993 à 2003; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

Des changements dans les régimes de précipitations ont également été constatés. Les précipitations ont augmenté dans certaines régions (p. ex., nord de l'Europe, nord et centre de l'Asie et nord de l'Amérique du Nord), alors qu'elles ont subi une baisse dans d'autres endroits (p. ex., prairies subsahariennes et sud-est de l'Afrique). De façon générale, les précipitations ont augmenté aux latitudes élevées et sous les tropiques, mais elles ont diminué dans la région subtropicale. Plus préoccupante encore pour certaines régions que les changements dans les régimes de précipitations annuelles est la fréquence accrue des épisodes de précipitations fortes qui fait déborder les systèmes de drainage, cause des inondations considérables, déclenche des glissements de terrain et compromet l'eau potable et les réseaux d'égouts, ce qui entraîne des décès et de lourdes conséquences sur la santé et l'économie (*voir* le chapitre 9).

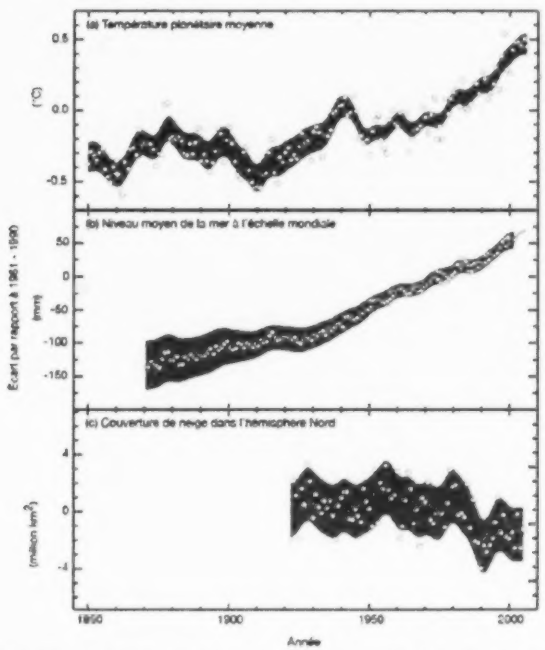


FIGURE 5 : Changements constatés (par rapport à la période de 1961 à 1990) de la température, du niveau de la mer et de la couverture de neige dans l'hémisphère Nord (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

Prévisions du climat

Les prévisions du climat proviennent des expériences de modélisation du climat (*voir* l'encadré 3). Dans de nombreux cas, les changements à venir s'accompagneront d'une poursuite, et souvent d'une accélération, des tendances observées au XX[e] siècle. Le *Quatrième rapport d'évaluation* du Groupe de travail I du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2007a; Meehl *et al.*, 2007) traite des principaux changements prévus au XXI[e] siècle (*voir* le tableau 6). Dans ce rapport, parmi les avancées notables, comparativement aux précédentes évaluations du GIEC, figurent une plus grande confiance dans les projections des modèles, une meilleure prévision des phénomènes extrêmes et une plus solide attribution des changements constatés aux forçages d'origine anthropique, toutes découlant des progrès de la science du climat, de la capacité des ordinateurs et de l'allongement des périodes d'observation.

Selon les meilleures estimations du GIEC, la température mondiale moyenne montera de 0,2 °C tous les dix ans au cours des 20 prochaines années. Il s'agit là d'une prévision qui fait réfléchir, puisque, même si les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre étaient maintenues au niveau de l'an 2000, la température

TABLEAU 5 : Changements constatés dans les indicateurs du climat et des conditions météorologiques (*établis d'après* le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

Indicateur	Changement	Commentaires
Température de l'air	Élévation de 0,74°C Élévation de 0,13 °C tous les dix ans	Tendance (1906 à 2005) Vitesse (durant les 50 dernières années)
Température de l'océan	Élévation jusqu'à des profondeurs de 3 000 m	
Niveau de la mer	Élévation de 1,8 mm/an Élévation de 0,17 m	Vitesse (1961 à 2003) Total (1900 à 2000)
Couverture de neige	Diminution	Hémisphère Nord
Glaciers de montagne	Recul généralisé	Depuis 1900
Étendue de la glace de mer de l'Arctique	Diminution de 2,7 p. 100 tous les dix ans	Vitesse (1978-2005)
Étendue du pergélisol	Diminution d'environ 7 p. 100	Quantité depuis 1900
Épisodes de fortes précipitations	Fréquence accrue	
Sécheresses	Gravité et durée accrues	Depuis les années 1970
Vagues de chaleur	Fréquence accrue	
Tempêtes tropicales	Intensité accrue	Depuis les années 1970

moyenne de la planète continuerait de s'élever de 0,1 °C par décennie (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a) pendant encore 20 ans. Il est également prévu que le réchauffement variera dans l'espace, le réchauffement le plus considérable se manifestant dans l'intérieur des terres et aux latitudes élevées de l'hémisphère Nord. Les précipitations devraient également augmenter aux latitudes élevées et diminuer dans les régions terrestres subtropicales. On estime que le niveau de la mer va s'élever de 0,18 m à 0,59 mètre par 2100, selon le scénario utilisé (*voir* le tableau 3).

Les températures plus élevées seront accompagnées d'une réduction continue de la couverture de neige ainsi que de la superficie et de la durée du couvert de glace de l'Arctique, et d'une augmentation de la profondeur de la couche active du pergélisol (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). À plus long terme, l'ampleur du réchauffement planétaire et de l'élévation du niveau de la mer projetée dépend des hypothèses propres au scénario utilisé (*voir* le tableau 3), mais il est important de mentionner que l'orientation de ces changements est la même d'un scénario d'émissions à l'autre.

Des changements en ce qui concerne les conditions météorologiques extrêmes, notamment les journées chaudes et froides ainsi que les épisodes de précipitations fortes, iront de pair avec le réchauffement progressif (Kharin *et al.*, 2007). Selon les sorties de passes plurimodèles (12 à14 modèles), Kharin *et al.*, (2007) ont projeté que les journées de chaleur extrême de l'été deviendront encore plus chaudes, que les froids extrêmes de l'hiver s'atténueront considérablement et qu'il y aura plus d'épisodes de fortes précipitations. D'autres études semblent indiquer que les tempêtes tropicales et hivernales pourraient devenir plus intenses en raison du réchauffement des températures à la surface des mers (Webster *et al.*, 2005; Lambert et Fyfe, 2006).

Les chercheurs reconnaissent qu'il y a un risque réel et restreint d'importantes surprises potentiellement cataclysmiques qui ne sont pas rendues par les modèles (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a), mais qui pourraient avoir des conséquences désastreuses. Il s'agit entre autres 1) de la possibilité d'un ralentissement soudain ou d'un arrêt de la circulation méridienne de retournement de l'Atlantique, qui transporte beaucoup de chaleur de l'équateur vers le nord de l'Atlantique et sans laquelle la température annuelle de l'Europe serait beaucoup plus basse; 2) de la désintégration de l'inlandsis de l'ouest de l'Antarctique, qui pourrait causer une élévation mondiale du niveau de la mer de cinq mètres; 3) de la libération soudaine de grandes quantités de méthane des hydrates de gaz gelés sous le plancher océanique, phénomène susceptible de faire augmenter rapidement les concentrations de méthane dans l'atmosphère et d'accentuer ainsi le réchauffement à l'échelle planétaire. Même s'il semble peu probable que de telles surprises aient toutes lieu au cours du prochain siècle, les processus irréversibles menant à leur réalisation pourraient s'enclencher avant 2100. Les enregistrements paléoclimatiques révèlent que ce genre de surprises est déjà survenu dans le passé, particulièrement au cours de périodes de transition climatique rapide.

TABLEAU 6 : Changements climatiques projetés (*établis d'après* le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

Indicateur	Changement	Probabilité
Jours et nuits froids	Plus chauds et moins fréquents	Virtuellement certain
Jours et nuits chauds	Plus chauds et plus fréquents	Virtuellement certain
Vagues de chaleur	Plus fréquentes	Très probable
Chaleur extrême	Plus fréquente	Très probable
Épisodes de fortes précipitations	Plus fréquents	Très probable
Circulation méridionale de renversement de l'Atlantique	Ralentissement (25 p. 100)	Très probable
Sécheresses	Accrues dans les zones touchées	Probable
Tempêtes tropicales	Plus intenses	Probable

4 APERÇU DU CHANGEMENT CLIMATIQUE AU CANADA

Ainsi que précédemment mentionné à la section 2, la compréhension des risques et des possibilités que le changement climatique présente pour le Canada tient à la connaissance que l'on a non seulement du phénomène mais également de la sensibilité au climat des principaux aspects de l'économie et du tissu social du Canada, et à la capacité des gouvernements canadiens, de l'industrie et des individus de mettre en œuvre des mesures d'adaptation.

Le Canada est un pays vaste qui présente une grande diversité d'une région à l'autre sur les plans du climat, des paysages, des collectivités et de l'économie, que mettent en évidence les contrastes entre les divers chapitres à caractère régional de la présente évaluation. Les tendances et les projections à l'échelle nationale fournissent un contexte précieux pour les analyses régionales. Au cours des 50 dernières années, les changements du climat ont entraîné une hausse des températures dans la plupart des régions du Canada, en plus de modifier les régimes de précipitations, de réduire l'étendue de la glace de mer, d'altérer les conditions hydrologiques et de modifier le caractère de certains phénomènes météorologiques extrêmes. Pendant la même période, le secteur des services est devenu prédominant dans l'économie du pays, la population a vieilli et augmenté dans les grands centres urbains. Selon toute vraisemblance, ces tendances se poursuivront et auront des implications sur la vulnérabilité dans l'avenir. Par exemple, le secteur des services est sans doute moins sensible aux

changements du climat que celui des ressources primaires, et les personnes âgées ont généralement plus de difficulté à faire face aux phénomènes météorologiques extrêmes, comme les vagues de chaleur. Les économies vigoureuses disposent également d'un éventail plus large d'options en matière d'adaptation et sont considérées comme plus en mesure de s'adapter.

La présente section donne un aperçu de ce que le changement climatique signifie pour le Canada en examinant les conditions actuelles, les tendances constatées et les projections sur les plans de l'économie, de la population et du climat. L'importance de l'échelle est un thème récurrent dans l'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique, en ce sens qu'elle met en évidence le fait que les analyses globales aux échelles nationale et mondiale sous-estimeront inévitablement l'ampleur des impacts économiques et sociaux qui se manifestent aux échelles régionale et locale.

4.1 L'ÉCONOMIE CANADIENNE

État actuel

L'économie canadienne est vaste et diversifiée, et le PIB national s'élève à plus de 1 billion de dollars. Il s'agit principalement d'une économie tertiaire : le secteur des services représente près de 70 p. 100 du PIB, tandis que les industries productrices de biens y comptent pour environ 30 p. 100 (*voir* le tableau 7). Dans le secteur des services, les principaux contributeurs sont les secteurs de la finance et des assurances, de la vente en gros et au détail, des soins de santé et de l'administration publique. Dans le secteur des industries productrices de biens, ce sont les industries manufacturières (de l'automobile, des aéronefs et des produits pharmaceutiques) qui y contribuent le plus. Les industries axées sur l'exploitation des ressources naturelles, à savoir les mines, l'agriculture, les forêts, la pêche et la chasse, ne représentent qu'un faible pourcentage du PIB à l'échelle nationale (*voir* le tableau 7), mais elles demeurent une composante importante de l'économie canadienne. Ces industries ont toujours joué un rôle majeur dans la croissance du pays et contribuent encore pour beaucoup au commerce extérieur et au fondement de la richesse nationale.

Tendances et projections

La vigueur de l'économie canadienne au cours des dix dernières années s'est traduite par une croissance continue de la production par habitant grâce à la fois à un taux d'emploi à la hausse et à une plus grande productivité de la main-d'œuvre. L'augmentation de la productivité, qui est largement attribuable au développement technologique et aux activités d'investissement, devrait se maintenir à court et à moyen termes. À la lumière des tendances actuelles, il est raisonnable d'envisager une croissance soutenue du PIB canadien et un accroissement de la richesse du pays.

TABLEAU 7 : Produit intérieur brut aux prix de base selon le type d'activité (Statistique Canada, 2007a).

	En millions de dollars constants (1997)				
	2002	2003	2004	2005	2006
Industries de production de biens :					
Agriculture, foresterie, pêche et chasse	19 721	21 632	23 047	23 777	23 373
Exploitation minière et extraction de pétrole et de gaz	36 345	38 287	39 469	39 750	40 157
Fabrication	172 130	171 499	174 992	176 497	174 992
Construction	54 620	56 274	59 764	63 108	67 618
Services publics	26 982	27 221	27 366	28 562	28 042
Industries de services :					
Transport et entreposage	46 638	47 176	49 494	51 403	52 792
Industrie de l'information et industrie culturelle	41 017	41 924	42 534	44 258	45 315
Commerce de gros	57 846	60 252	63 510	66 040	73 510
Commerce de détail	56 771	58 533	60 732	63 627	67 273
Finance et assurance, services immobiliers et services de location et de location à bail, gestion de sociétés et d'entreprises	193 595	197 828	205 480	212 385	220 507
Services professionnels, scientifiques et techniques	43 729	45 610	46 838	48 284	49 728
Services administratifs, services de soutien, services de gestion des déchets et services d'assainissement	21 799	22 531	23 351	24 187	25 664
Administrations publiques	56 346	57 882	59 084	59 902	61 527
Services d'enseignement	44 712	45 252	46 293	47 055	47 959
Soins de santé et assistance sociale	56 933	58 369	59 477	60 305	61 572
Arts, spectacles et loisirs	9 130	9 117	9 223	9 283	9 529
Hébergement et services de restauration	23 063	22 533	22 983	23 223	24 143
Autres services (sauf les administrations publiques)	24 496	25 065	25 529	26 015	26 628
Toutes les industries[1]	985 873	1 006 985	1 039 166	1 069 661	1 100 329

[1] Système de classification des industries de l'Amérique du Nord

Le changement climatique aura une incidence sur l'économie canadienne en progression rapide, car les facteurs démographiques, commerciaux et technologiques exerceront une grande influence sur les réalisations futures. Il est donc difficile de prévoir l'ampleur des impacts du phénomène sur l'économie canadienne. Les modèles semblent indiquer que, même si, dans l'ensemble, les répercussions sur l'économie seraient légèrement avantageuses à court terme dans un scénario de réchauffement modéré, les systèmes ne pourront faire face à une élévation plus grande des températures et aux changements du climat qui en découleront, entraînant ainsi des pertes économiques nettes (Stern, 2006). Il faut également bien comprendre que la plupart des études menées jusqu'ici sur les répercussions économiques du changement climatique ne tiennent compte que des changements des conditions moyennes et ne prennent pas en considération les phénomènes météorologiques extrêmes, malgré le fait que les catastrophes naturelles associées à ces phénomènes occasionnent fréquemment des coûts importants à court et à long termes. De plus, les économies locales et régionales pourraient subir des pertes graves dues à la fois aux phénomènes météorologiques extrêmes et à des changements progressifs à plus long terme du climat. À l'échelle locale, les collectivités tributaires de ressources naturelles sensibles au climat pourraient être particulièrement vulnérables au changement climatique (*voir* l'encadré 4; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007b).

Les rapports d'ensemble nationaux, dans lesquels les pertes ou les gains sont exprimés en termes de PIB national, ont tendance à occulter les répercussions sur les provinces et territoires plus petits. Ainsi, par exemple, l'effondrement de la pêche à la morue du Nord, à Terre-Neuve, en 1992, a eu des répercussions catastrophiques à l'échelle de la province et des collectivités, dont la perte de quelque 40 000 emplois (Mason, 2002), et, pourtant, son incidence se fait à peine sentir à l'échelle du PIB national.

Certains des principaux impacts du changement climatique sur l'économie canadienne peuvent être regroupés, par catégorie, de la façon suivante :

- **Impacts des phénomènes extrêmes et des perturbations naturelles :** les pertes économiques qui découlent de tels événements au Canada s'élèvent souvent à des centaines de millions de dollars (p. ex., l'ouragan Juan, les tempêtes de grêle en Alberta, les feux de friche en Colombie-Britannique), voire des milliards de dollars (la tempête de verglas en 1998, l'inondation au Saguenay en 1996, les sécheresses d'échelle nationale en 2001 et 2002). Il ne faut pas oublier non plus les dommages causés par les insectes aux forêts et aux cultures, qui peuvent être considérables.
- **Impacts sur les bâtiments et les infrastructures :** dans cette catégorie figurent la hausse des coûts d'entretien et de protection, les coûts liés aux pertes totales ou au remplacement, et la perte d'actifs. Les chemins d'hiver (*voir* les chapitres 3 et 7), l'érosion côtière (*voir* les chapitres 3, 4, 5 et 8) et la dégradation du pergélisol (*voir* les chapitres 3 et 5) sont des préoccupations importantes au Canada.
- **Impacts sur la production, les prix et la demande de biens et de services :** ces impacts auront des coûts évidents tant au Canada que partout ailleurs dans le monde (*voir* le chapitre 9) et seront à la fois positifs et négatifs.

ENCADRÉ 4

Collectivités tributaires des ressources

L'agriculture, la foresterie, la pêche et la chasse ne représentent que 2 p. 100 environ du PIB national (*voir* le tableau 7) et, au plus, 7 p. 100 du PIB provincial (en Saskatchewan); ces secteurs sont néanmoins essentiels au bien-être économique de nombreuses sous-régions et collectivités, où les activités axées sur les terres et les ressources sont toujours à la base de la vie économique. Par exemple, le bien-être économique de plus de 1600 collectivités canadiennes dépend à plus de 30 p. 100 d'un ou de plusieurs de ces secteurs (c'est-à-dire que 30 p. 100 ou plus des revenus d'emploi proviennent de ces secteurs; Ressources naturelles Canada, 2006). Parmi ces 1 600 collectivités, 808 dépendent de l'agriculture, 651 du secteur forestier et environ 200 du secteur des pêches.

Il convient de noter que ces estimations ne rendent pas compte des petites collectivités tributaires des ressources naturelles (population de moins de 250 personnes).

De plus, les ressources naturelles font partie intégrante des modes de vie des collectivités autochtones du Canada. L'économie de subsistance peut y constituer de 25 p. 100 à 50 p. 100 de l'économie globale, et sa valeur pourrait se chiffrer à environ 15 000 $ par ménage dans l'Arctique et à la moitié de ce montant dans la région sub-arctique (Berkes et Fast, 1996; Centre for Indigenous Environmental Resources, 2006). Toutefois, la comptabilité économique traditionnelle reflète mal ces valeurs.

Plusieurs facteurs augmentent la vulnérabilité des collectivités tributaires des ressources au changement climatique. Il s'agit de la forte sensibilité au climat de nombreuses ressources naturelles (l'agriculture, la forêt et les pêches), ainsi que de nombre d'autres facteurs liés à une faible capacité d'adaptation, notamment une diversification économique limitée, la pénurie de ressources économiques qui peuvent être consacrées à l'adaptation, le vieillissement de la population et un accès généralement plus restreint aux services (p. ex., un isolement plus marqué).

Dans l'ensemble, les répercussions économiques à l'échelle des collectivités peuvent être importantes. Les analyses globales ont tendance à occulter les effets cruciaux à l'échelle locale et les difficultés imposées.

- **Coûts liés aux impacts sur la sécurité publique, la santé et le bien-être des populations :** bien que difficiles à quantifier et à prévoir, ces coûts peuvent être élevés. À titre d'exemple, l'incidence des maladies à transmission vectorielle, les effets à long terme des inondations (p. ex., les répercussions sur la santé mentale, les problèmes de moisissure et les difficultés financières) et les impacts d'un climat en évolution sur la culture et les modes de vie traditionnels. Une diminution des phénomènes climatiques extrêmes en hiver pourrait par contre présenter des avantages.
- **Impacts causés par les changements hydrologiques s'opérant dans les lacs et les cours d'eau :** les variations des niveaux d'eau et de l'approvisionnement en eau exerceront des pressions sur plusieurs secteurs économiques, dont l'énergie (p. ex., l'hydroélectricité), le tourisme et les loisirs, les pêches en eau douce et les transports.

Le changement climatique aura une incidence sur l'économie canadienne en progression rapide, car les facteurs démographiques, commerciaux et technologiques exerceront une grande influence sur les réalisations futures. Il est donc difficile de prévoir l'ampleur des impacts du phénomène sur l'économie canadienne. Les modèles semblent indiquer que, même si, dans l'ensemble, les répercussions sur l'économie seraient légèrement avantageuses à court terme dans un scénario de réchauffement modéré, les systèmes ne pourront faire face à une élévation plus grande des températures et aux changements du climat qui en découleront, entraînant ainsi des pertes économiques nettes (Stern, 2006). Il faut également bien comprendre que la plupart des études menées jusqu'ici sur les répercussions économiques du changement climatique ne tiennent compte que des changements des conditions moyennes et ne prennent pas en considération les phénomènes météorologiques extrêmes, malgré le fait que les catastrophes naturelles associées à ces phénomènes occasionnent fréquemment des coûts importants à court et à long termes. De plus, les économies locales et régionales pourraient subir des pertes graves dues à la fois aux phénomènes météorologiques extrêmes et à des changements progressifs à plus long terme du climat. À l'échelle locale, les collectivités tributaires de ressources naturelles sensibles au climat pourraient être particulièrement vulnérables au changement climatique (*voir* l'encadré 4; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007b).

Les rapports d'ensemble nationaux, dans lesquels les pertes ou les gains sont exprimés en termes de PIB national, ont tendance à occulter les répercussions sur les provinces et territoires plus petits. Ainsi, par exemple, l'effondrement de la pêche à la morue du Nord, à Terre-Neuve, en 1992, a eu des répercussions catastrophiques à l'échelle de la province et des collectivités, dont la perte de quelque 40 000 emplois (Mason, 2002), et, pourtant, son incidence se fait à peine sentir à l'échelle du PIB national.

Certains des principaux impacts du changement climatique sur l'économie canadienne peuvent être regroupés, par catégorie, de la façon suivante :

- **Impacts des phénomènes extrêmes et des perturbations naturelles :** les pertes économiques qui découlent de tels événements au Canada s'élèvent souvent à des centaines de millions de dollars (p. ex., l'ouragan Juan, les tempêtes de grêle en Alberta, les feux de friche en Colombie-Britannique), voire des milliards de dollars (la tempête de verglas en 1998, l'inondation au Saguenay en 1996, les sécheresses d'échelle nationale en 2001 et 2002). Il ne faut pas oublier non plus les dommages causés par les insectes aux forêts et aux cultures, qui peuvent être considérables.
- **Impacts sur les bâtiments et les infrastructures :** dans cette catégorie figurent la hausse des coûts d'entretien et de protection, les coûts liés aux pertes totales ou au remplacement, et la perte d'actifs. Les chemins d'hiver (*voir* les chapitres 3 et 7), l'érosion côtière (*voir* les chapitres 3, 4, 5 et 8) et la dégradation du pergélisol (*voir* les chapitres 3 et 5) sont des préoccupations importantes au Canada.
- **Impacts sur la production, les prix et la demande de biens et de services :** ces impacts auront des coûts évidents tant au Canada que partout ailleurs dans le monde (*voir* le chapitre 9) et seront à la fois positifs et négatifs.

ENCADRÉ 4

Collectivités tributaires des ressources

L'agriculture, la foresterie, la pêche et la chasse ne représentent que 2 p. 100 environ du PIB national (*voir* le tableau 7) et, au plus, 7 p. 100 du PIB provincial (en Saskatchewan); ces secteurs sont néanmoins essentiels au bien-être économique de nombreuses sous-régions et collectivités, où les activités axées sur les terres et les ressources sont toujours à la base de la vie économique. Par exemple, le bien-être économique de plus de 1600 collectivités canadiennes dépend à plus de 30 p. 100 d'un ou de plusieurs de ces secteurs (c'est-à-dire que 30 p. 100 ou plus des revenus d'emploi proviennent de ces secteurs; Ressources naturelles Canada, 2006). Parmi ces 1 600 collectivités, 808 dépendent de l'agriculture, 651 du secteur forestier et environ 200 du secteur des pêches.

Il convient de noter que ces estimations ne rendent pas compte des petites collectivités tributaires des ressources naturelles (population de moins de 250 personnes).

De plus, les ressources naturelles font partie intégrante des modes de vie des collectivités autochtones du Canada. L'économie de subsistance peut y constituer de 25 p. 100 à 50 p. 100 de l'économie globale, et sa valeur pourrait se chiffrer à environ 15 000 $ par ménage dans l'Arctique et à la moitié de ce montant dans la région sub-arctique (Berkes et Fast, 1996; Centre for Indigenous Environmental Resources, 2006). Toutefois, la comptabilité économique traditionnelle reflète mal ces valeurs.

Plusieurs facteurs augmentent la vulnérabilité des collectivités tributaires des ressources au changement climatique. Il s'agit de la forte sensibilité au climat de nombreuses ressources naturelles (l'agriculture, la forêt et les pêches), ainsi que de nombre d'autres facteurs liés à une faible capacité d'adaptation, notamment une diversification économique limitée, la pénurie de ressources économiques qui peuvent être consacrées à l'adaptation, le vieillissement de la population et un accès généralement plus restreint aux services (p. ex., un isolement plus marqué).

Dans l'ensemble, les répercussions économiques à l'échelle des collectivités peuvent être importantes. Les analyses globales ont tendance à occulter les effets cruciaux à l'échelle locale et les difficultés imposées.

- **Coûts liés aux impacts sur la sécurité publique, la santé et le bien-être des populations :** bien que difficiles à quantifier et à prévoir, ces coûts peuvent être élevés. À titre d'exemple, l'incidence des maladies à transmission vectorielle, les effets à long terme des inondations (p. ex., les répercussions sur la santé mentale, les problèmes de moisissure et les difficultés financières) et les impacts d'un climat en évolution sur la culture et les modes de vie traditionnels. Une diminution des phénomènes climatiques extrêmes en hiver pourrait par contre présenter des avantages.
- **Impacts causés par les changements hydrologiques s'opérant dans les lacs et les cours d'eau :** les variations des niveaux d'eau et de l'approvisionnement en eau exerceront des pressions sur plusieurs secteurs économiques, dont l'énergie (p. ex., l'hydroélectricité), le tourisme et les loisirs, les pêches en eau douce et les transports.

On ne dispose que de données limitées sur la sensibilité ou la vulnérabilité du secteur des services, qui domine maintenant l'économie du Canada. Toutefois, à court terme, il est probable qu'il soit moins sensible à un changement climatique lent ou modéré que celui des ressources renouvelables. Néanmoins, tous les secteurs risquent d'atteindre des seuils critiques au fur et à mesure de l'évolution du climat, ce qui déclencherait d'éventuelles rétroactions à long terme (Schneider, 2004) et des catastrophes qui s'avéreraient très coûteuses (Stern, 2006).

4.2 POPULATION ET PROFIL DÉMOGRAPHIQUE

État actuel

Le Canada compte 32,6 millions d'habitants, pour une densité de population de 3,5 personnes/km^2 (parmi les plus basses de la planète; Statistique Canada, 2007d). Ces chiffres ne sont toutefois pas représentatifs des régions de résidence de la plupart des Canadiens, car plus de la moitié de la population habite dans le corridor densément peuplé allant de Québec à Windsor.

Tendances et projections[4]

La population du Canada est passée de 24,3 millions d'habitants en 1981 à 32,6 millions en 2006 (Statistique Canada, 2006, 2007e). La croissance démographique a été caractérisée par deux grandes tendances : l'urbanisation et le vieillissement de la population, qui devraient toutes deux se poursuivre.

En 2001, près de 80 p. 100 de la population canadienne habitait dans des villes, et le nombre de citadins a crû d'environ 50 p. 100 depuis 1971. L'accroissement de la population urbaine est attribuable, d'une part, au choix fait par les nouveaux immigrants de s'établir dans une ville et, d'autre part, à la migration de résidents des régions rurales vers la ville afin de tirer profit des occasions d'emploi. De plus, il existe un lien non seulement entre ces considérations démographiques et la croissance des secteurs secondaire et tertiaire, mais aussi avec le développement urbain comme tel. En 2001, c'est toujours en Ontario et au Québec que l'on trouvait la plus grande concentration de zones urbaines au Canada, mais l'Alberta et la Colombie-Britannique connaissent aussi actuellement une expansion fulgurante.

Il est couramment admis que les personnes âgées sont les plus vulnérables au changement climatique, en particulier sur le plan de la santé. La proportion de personnes âgées (65 ans et plus) au Canada a crû de 3 p. 100 entre 1981 et 2005 (passant de 10 à 13 p. 100), et tous les scénarios prévoient que cette augmentation se poursuivra jusqu'en 2056 (Statistique Canada, 2005). Dans les scénarios de croissance modérée, la proportion de personnes âgées devrait presque doubler d'ici 25 ans et, en 2056, la moitié de la population canadienne devrait avoir plus de 47 ans. La proportion de personnes plus âgées (80 ans et plus) connaîtrait aussi une croissance marquée. Le scénario de croissance modérée prévoit, par exemple, qu'environ un Canadien sur dix aura plus de 80 ans en 2056, comparativement à environ un sur trente en 2005. D'autres segments de la population sont jugés plus vulnérables au changement climatique, dont les enfants, les Autochtones, les personnes souffrant déjà de problèmes de santé et les démunis (Santé Canada, 2005).

La plupart des scénarios analysés par Statistique Canada prévoient que la population du Canada continuera de s'accroître jusqu'en 2056 (*voir* la figure 6 et le tableau 8). Dans le scénario de croissance modérée, la taille de la population canadienne augmenterait de 30 p. 100 d'ici 2056 et, dans le scénario de forte croissance, de 53 p. 100 pendant la même période. Dans le scénario de croissance faible, pour sa part, on projette une hausse de la population jusqu'en 2039, puis une baisse progressive jusqu'en 2056. Tous les scénarios

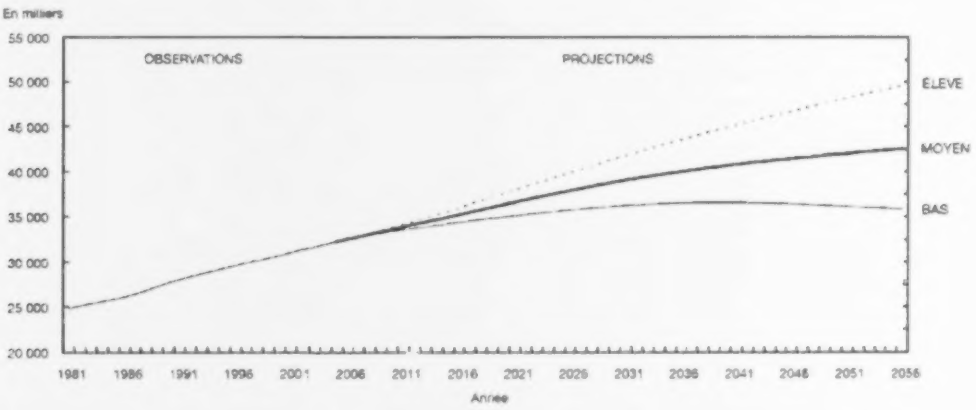


FIGURE 6 : Population constatée (1981 à 2005) et projetée (2006 à 2056) du Canada, selon trois scénarios (Statistique Canada, 2005).

[4] De plus amples informations sur les projections présentées dans cette section peuvent être trouvées dans Statistique Canada (2005).

TABLEAU 8 : Projections de la population du Canada selon des scénarios de croissance faible, modérée et élevée jusqu'en 2031 et 2056 (*établies d'après* Statistique Canada, 2005).

Scénario	2031	2056
Croissance lente	36,3 millions	35,9 millions
Croissance moyenne	39 millions	42,5 millions
Croissance rapide	41,8 millions	49,7 millions

Population actuelle (2006) : 32,6 millions

analyses indiquent une croissance démographique naturelle négative à moyen ou à long terme et un seul facteur de croissance de la population canadienne : l'immigration.

La Colombie-Britannique est la province qui connaîtrait le plus haut taux d'accroissement annuel moyen de la population, suivie de l'Ontario et de l'Alberta (*voir* le tableau 9). On prévoit que certaines provinces, soit la Saskatchewan et Terre-Neuve-et-Labrador, verront leur population baisser légèrement, tandis que les provinces plus peuplées de l'Ontario, de la Colombie-Britannique, de l'Alberta et du Québec afficheront de fortes croissances démographiques, principalement dans les grands centres urbains. Les chapitres à caractère régional du rapport traitent plus en détail des tendances provinciales et territoriales. Les résultats des projections sont entachés de plus d'incertitude aux échelles provinciale et territoriale qu'à l'échelle nationale en raison du phénomène de la migration interprovinciale, laquelle s'est avérée très fluctuante par le passé.

TABLEAU 9 : Projections de la croissance provinciale pour 2031 selon un scénario de croissance modérée et de tendances migratoires modérées (*établies d'après* Statistique Canada, 2005).

Province	Population (en milliers)		Moyenne du taux de croissance annuel (taux par millier)
	2005	2031	
Colombie-Britannique	4 254,5	5 502,9	9,9
Alberta	3 256,8	4 144,9	9,3
Saskatchewan	994,1	975,8	-0,7
Manitoba	1 177,6	1 355,7	5,4
Ontario	12 541,4	16 130,4	9,7
Québec	7 598,1	8 396,4	3,8
Terre-Neuve-et-Labrador	516,0	505,6	-0,8
Île-du-Prince-Édouard	138,1	149,5	3,1
Nouvelle-Écosse	937,9	979,4	1,7
Nouveau-Brunswick	752,0	767,2	0,8
Yukon	31,0	34,0	3,6
Territoires du Nord-Ouest	43,0	54,4	9,1
Nunavut	30,0	33,3	4,0

4.3 TENDANCES ET PROJECTIONS DU CLIMAT

Tendances constatées – températures et précipitations

Les effets du changement climatique de nature anthropique sur le Canada se dégagent clairement des tendances constatées et des températures (Zhang *et al.*, 2006), et ils agissent déjà sur les systèmes humain et naturel (*voir* Gillett *et al.*, 2004). Des observations sont recueillies dans le sud du Canada depuis plus d'une centaine d'années et dans d'autres parties du pays depuis le milieu du XX^e^ siècle. Ces données, et les données satellitaires des quelque 25 dernières années environ, dressent un tableau détaillé de la façon dont le climat du Canada et ses variables biophysiques ont changé au cours des dernières décennies. La présente section fournit un aperçu des changements constatés; pour une information plus détaillée, le lecteur peut consulter les ouvrages de Barrow *et al.* (2004) et de Hengeveld *et al.* (2005).

Au Canada, les températures se sont élevées en moyenne de plus de 1,3 °C depuis 1948 (*voir* la figure 7), soit à peu près le double de la moyenne mondiale. Au cours de cette période, la plus forte hausse des températures a été enregistrée au Yukon et dans les Territoires du Nord-Ouest. Toutes les régions du pays ont connu un réchauffement ces dernières années (1906 à 2003; McBean *et al.*, 2005), y compris l'est de l'Arctique, où la tendance au refroidissement s'est inversée et où l'on note depuis le début des années 1990 une tendance au réchauffement (Huntington *et al.*, 2005a; Nickels *et al.*, 2006).

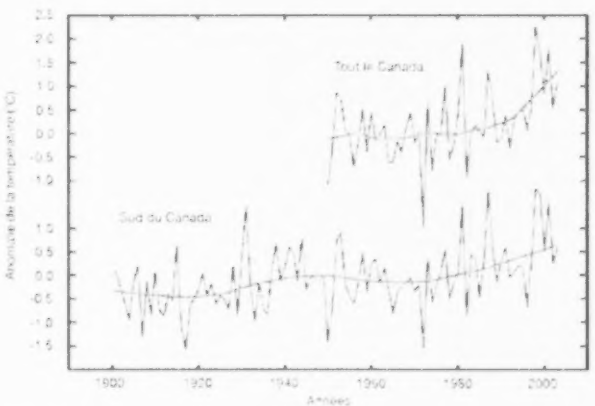


FIGURE 7 : Anomalie de la température annuelle au niveau national et tendances à long terme, 1948 à 2006 (Environnement Canada, 2006).

Sur une base saisonnière (*voir* la figure 8), les hausses de température ont été plus grandes et plus variables dans l'espace pendant l'hiver et le printemps. Le nord-ouest du Canada a connu une hausse de plus de 3 °C des températures hivernales entre 1948 et 2003. Pendant la même période, des tendances au refroidissement en hiver et au printemps (jusqu'à –2,5 °C) ont été constatées dans des régions de l'est de l'Arctique. Pendant l'été, le réchauffement a été à la fois moins élevé et plus uniforme dans

TABLEAU 8 : Projections de la population du Canada selon des scénarios de croissance faible, modérée et élevée jusqu'en 2031 et 2056 (*établies d'après* Statistique Canada, 2005).

Scénario	2031	2056
Croissance lente	36,3 millions	35,9 millions
Croissance moyenne	39 millions	42,5 millions
Croissance rapide	41,8 millions	49,7 millions

Population actuelle (2006) : 32,6 millions

analysés indiquent une croissance démographique naturelle négative à moyen ou à long terme et un seul facteur de croissance de la population canadienne : l'immigration.

La Colombie-Britannique est la province qui connaîtrait le plus haut taux d'accroissement annuel moyen de la population, suivie de l'Ontario et de l'Alberta (*voir* le tableau 9). On prévoit que certaines provinces, soit la Saskatchewan et Terre-Neuve-et-Labrador, verront leur population baisser légèrement, tandis que les provinces plus peuplées de l'Ontario, de la Colombie-Britannique, de l'Alberta et du Québec afficheront de fortes croissances démographiques, principalement dans les grands centres urbains. Les chapitres à caractère régional du rapport traitent plus en détail des tendances provinciales et territoriales. Les résultats des projections sont entachés de plus d'incertitude aux échelles provinciale et territoriale qu'à l'échelle nationale en raison du phénomène de la migration interprovinciale, laquelle s'est avérée très fluctuante par le passé.

TABLEAU 9 : Projections de la croissance provinciale pour 2031 selon un scénario de croissance modérée et de tendances migratoires modérées (*établies d'après* Statistique Canada, 2005).

Province	Population (en milliers)		Moyenne du taux de croissance annuel (taux par millier)
	2005	2031	
Colombie-Britannique	4 254,5	5 502,9	9,9
Alberta	3 256,8	4 144,9	9,3
Saskatchewan	994,1	975,8	-0,7
Manitoba	1 177,6	1 355,7	5,4
Ontario	12 541,4	16 130,4	9,7
Québec	7 598,1	8 396,4	3,8
Terre-Neuve-et-Labrador	516,0	505,6	-0,8
Île-du-Prince-Édouard	138,1	149,5	3,1
Nouvelle-Écosse	937,9	979,4	1,7
Nouveau-Brunswick	752,0	767,2	0,8
Yukon	31,0	34,0	3,6
Territoires du Nord-Ouest	43,0	54,4	9,1
Nunavut	30,0	33,3	4,0

4.3 TENDANCES ET PROJECTIONS DU CLIMAT

Tendances constatées – températures et précipitations

Les effets du changement climatique de nature anthropique sur le Canada se dégagent clairement des tendances constatées et des températures (Zhang *et al.*, 2006), et ils agissent déjà sur les systèmes humain et naturel (*voir* Gillett *et al.*, 2004). Des observations sont recueillies dans le sud du Canada depuis plus d'une centaine d'années et dans d'autres parties du pays depuis le milieu du XX^{e} siècle. Ces données, et les données satellitaires des quelque 25 dernières années environ, dressent un tableau détaillé de la façon dont le climat du Canada et ses variables biophysiques ont changé au cours des dernières décennies. La présente section fournit un aperçu des changements constatés; pour une information plus détaillée, le lecteur peut consulter les ouvrages de Barrow *et al.* (2004) et de Hengeveld *et al.* (2005).

Au Canada, les températures se sont élevées en moyenne de plus de 1,3 °C depuis 1948 (*voir* la figure 7), soit à peu près le double de la moyenne mondiale. Au cours de cette période, la plus forte hausse des températures a été enregistrée au Yukon et dans les Territoires du Nord-Ouest. Toutes les régions du pays ont connu un réchauffement ces dernières années (1966 à 2003; McBean *et al.*, 2005), y compris l'est de l'Arctique, où la tendance au refroidissement s'est inversée et où l'on note depuis le début des années 1990 une tendance au réchauffement (Huntington *et al.*, 2005a; Nickels *et al.*, 2006).

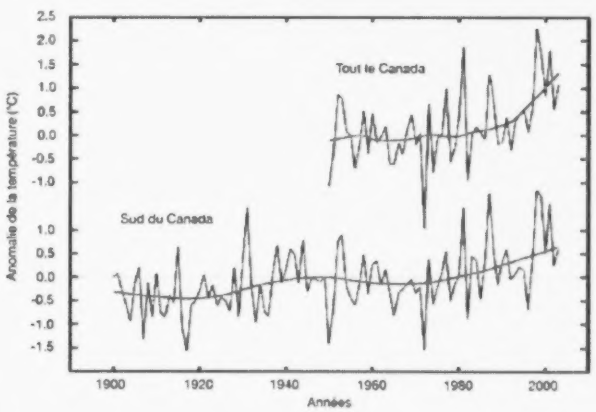


FIGURE 7 : Anomalie de la température annuelle au niveau national et tendances à long-terme, 1948 à 2006 (Environnement Canada, 2006).

Sur une base saisonnière (*voir* la figure 8), les hausses de température ont été plus grandes et plus variables dans l'espace pendant l'hiver et le printemps. Le nord-ouest du Canada a connu une hausse de plus de 3 °C des températures hivernales entre 1948 et 2003. Pendant la même période, des tendances au refroidissement en hiver et au printemps (jusqu'à –2,5 °C) ont été constatées dans des régions de l'est de l'Arctique. Pendant l'été, le réchauffement a été à la fois moins élevé et plus uniforme dans

l'espace, contrairement au réchauffement de l'automne, qui s'est principalement manifesté dans des régions de l'Arctique et en Colombie-Britannique (*voir* la figure 8).

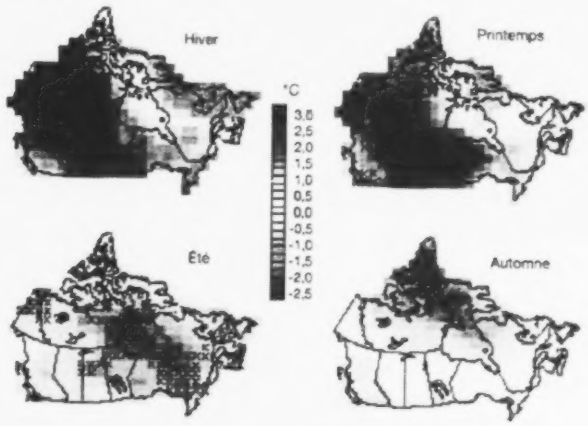


FIGURE 8 : Répartition régionale des tendances linéaires des températures (en °C) constatées au Canada entre 1948 et 2003, par saison. Les symboles « X » désignent des régions où les tendances sont statistiquement significatives. *Source* : Hengeveld *et al.* (2005).

En ce qui concerne les précipitations, les tendances nationales (*voir* la figure 9) sont plus difficiles à évaluer, principalement à cause de leur nature discontinue et de leurs divers états (pluie, neige et pluie verglaçante). Néanmoins, le Canada a connu en moyenne du temps plus humide au cours des 50 dernières années, enregistrant une augmentation d'environ 12 p. 100 des précipitations à travers tout le pays (Environnement Canada, 2003).

Les changements du régime de précipitations ont également varié d'une région et d'une saison à l'autre (*voir* les figures 10 et 11) depuis 1950. En moyenne sur l'année, c'est dans l'Extrême-Arctique que l'on a enregistré le pourcentage d'augmentation des précipitations le plus important, tandis que, dans les régions du sud du Canada (en particulier dans les Prairies), on a constaté peu de changement, voire une baisse (*voir* la figure 10). Dans la majeure partie du Nunavut, par exemple, les précipitations annuelles ont crû de 25 p. 100 à 45 p. 100 et, dans le sud du Canada, la hausse moyenne a été de 5 p. 100 à 35 p. 100 (Environnement Canada, 2003).

FIGURE 10 : Répartition régionale des tendances linéaires des précipitations annuelles (en % de changement) constatées au Canada entre 1948 et 2003. Les symboles « X » désignent les régions où les tendances sont statistiquement significatives. *Source* : Zhang et al. (2000), dernière modification faite en 2005.

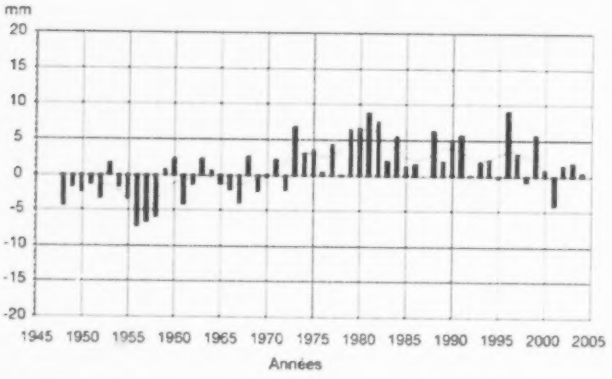


FIGURE 9 : Tendances des anomalies annuelles des précipitations moyennes au Canada, par rapport aux normales de 1951 à 1980, et à moyenne continue pondérée. *Source* : Environnement Canada.

Depuis 1950, les tendances saisonnières révèlent que, dans la majeure partie de l'Arctique, pendant les quatre saisons, le temps a été plus humide. Les précipitations se sont également accrues de manière significative dans certaines régions du sud de la Colombie-Britannique et du sud-est du Canada au printemps et à l'automne. En revanche, dans le sud du Canada, à l'exception de la partie occidentale du sud de l'Ontario, où plus de neige d'effet de lac (*voir* le chapitre 6) est tombée, les précipitations hivernales ont baissé de façon significative.

De 1950 à 2003, on a également constaté au Canada des changements de la fréquence des épisodes de températures et de précipitations extrêmes, à savoir (*tiré* de Vincent et Mekis, 2006) :

- moins de nuits de temps froid extrême,
- moins de jours de temps froid extrême,
- moins de jours avec gel,
- plus de nuits de chaleur extrême,
- plus de jours de chaleur extrême,
- plus de jours avec précipitations,
- baisse de la hauteur moyenne des précipitations quotidiennes,
- baisse du nombre maximum de jours consécutifs de temps sec,
- baisse de l'accumulation totale annuelle de neige (dans le sud du Canada),
- hausse de l'accumulation totale annuelle de neige (dans le nord et le nord-est du Canada).

Ces changements ont été accompagnés d'une diminution considérable du nombre de degrés-jours de chauffage. D'autres changements importants ont également été constatés à l'échelle régionale par rapport au nombre d'épisodes de précipitations intenses. En moyenne, la fraction des précipitations tombées sous la

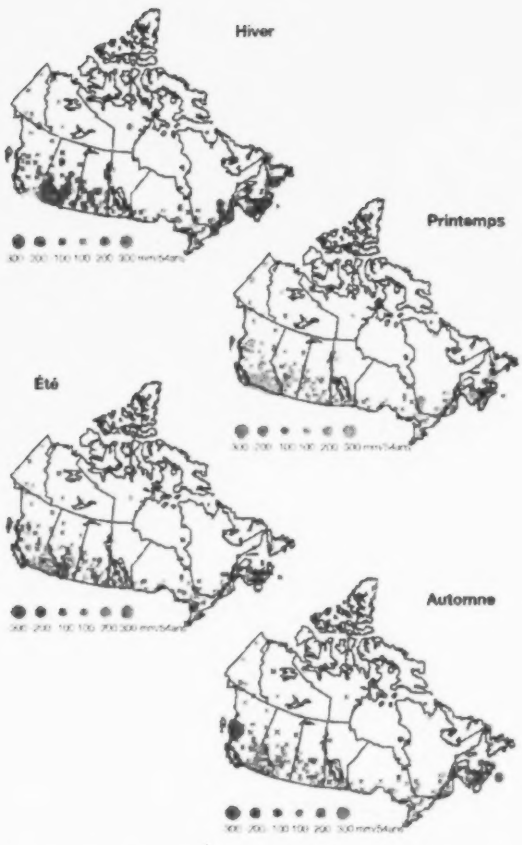


FIGURE 11 : Changements des régimes de précipitations depuis 1950, par saison. Les données, qui représentent le changement total au cours des 54 années entières de données, sont exprimées en mm. L'ordre de grandeur des changements est représenté par la taille du cercle, où la couleur verte indique une hausse et la couleur brune, une baisse. Les « X » désignent les régions où les données ne sont pas statistiquement significatives. *Source* : Environnement Canada.

forme d'un épisode intense (dans la fourchette supérieure des 10 p. 100) a diminué dans le sud du Canada et augmenté dans le nord du Canada, en particulier dans le nord-est. En outre, plus de précipitations tombent sous forme de pluie que de neige.

Autres changements constatés

Les changements survenus dans les températures et les précipitations depuis 50 à 100 ans ont eu des effets sur d'autres variables, dont la glace de mer, la couverture de neige, le pergélisol, l'évaporation et le niveau marin. Dans les chapitres à caractère régional du rapport, on examine en détail ces changements ainsi que leurs implications sur l'environnement, l'économie et la société. La présente section ne fait que souligner les principales observations.

La cryosphère a réagi au réchauffement constaté. À titre d'exemple, vers la fin de l'été, l'étendue de la glace de mer dans l'Arctique a diminué de 8 p. 100 par décennie depuis 1950 (*voir* la figure 12). Au cours de la même période, la durée de la couverture de neige a baissé de 20 jours en moyenne dans l'Arctique (*voir* la figure 13). Toutefois, l'accumulation totale de neige par année a été plus importante dans certaines régions de l'Arctique (Taylor *et al.*, 2006), parce que des températures plus élevées font augmenter l'humidité

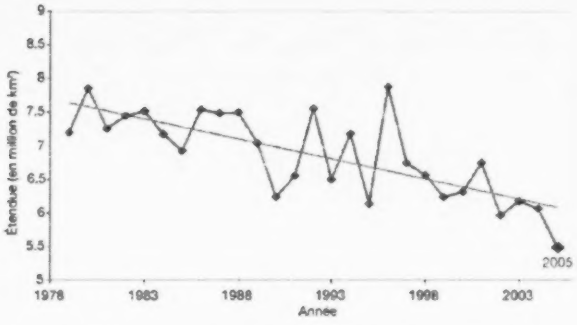


FIGURE 12 : Tendances de l'extension minimale (septembre) de la glace de mer dans l'Arctique de 1978 à 2005, selon les données satellitaires de la NASA. La ligne droite de couleur bleue indique la tendance de 1979 à 2005, qui montre actuellement une baisse de plus de 8 p. 100. *Source* : National Snow and Ice Data Center (2005).

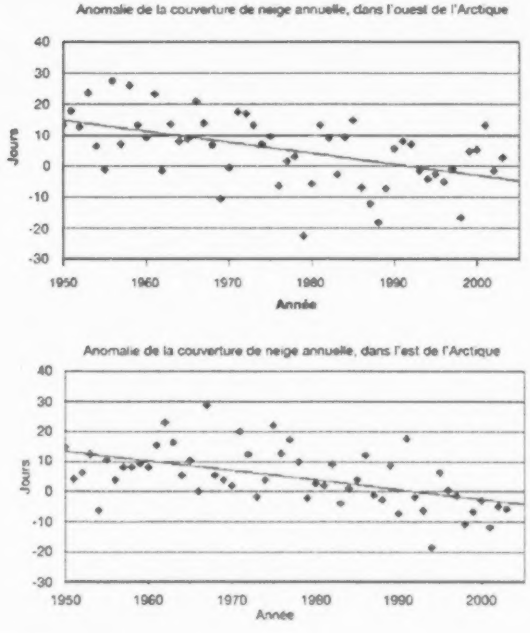


FIGURE 13 : Tendances de la durée de la couverture de glace dans l'Arctique canadien, mesurées en termes de jours, par rapport à 1990. *Source :* Ross Brown, Environnement Canada, communication personnelle, 2007.

et, donc, les précipitations. Pendant les années 1990, l'épaisseur de la couche active s'est accrue de façon générale dans les régions de pergélisol du Canada (p. ex., Brown *et al.*, 2000; Nixon *et al.*, 2003; Smith *et al.*, 2005). La température du pergélisol peu profond a monté de 0,3 °C à 0,5 °C par décennie dans les 20 à 30 dernières années du XX^{e} siècle dans l'Extrême-Arctique canadien (Taylor *et al.*, 2006), tandis que, dans l'ouest de l'Arctique, les températures ont connu une variation nulle à proche de 1 °C par décennie (Smith *et al.*, 2005).

La diminution récente du volume d'eau de fonte des glaciers dans l'ouest du Canada (Demuth *et al.*, 2002) ainsi que les changements du régime des précipitations et la hausse de l'évaporation dans d'autres régions (liée à l'élévation des températures) ont eu des effets sur les ressources hydriques dans la majeure partie du Canada (Shabbar et Skinner, 2004). Les taux d'évapotranspiration réelle (ÉTR) sont en moyenne plus élevés dans l'ensemble des régions du pays depuis 40 ans (*voir* la tableau 10), quoique la tendance soit faible ou non uniforme dans certaines régions (Fernandes *et al.*, 2007) en raison du peu d'eau qui puisse s'évaporer. À titre d'exemple, les taux d'évapotranspiration ont légèrement baissé dans les régions sèches des Prairies, où l'eau (évaporable) se fait déjà rare pendant une bonne partie de l'année (Huntington, 2006; Fernandes *et al.*, 2007). Bon nombre de régions du pays pourraient connaître une augmentation des précipitations (*voir* la figure 14), mais elle ne sera pas suffisante pour contrebalancer la hausse de l'ÉTR due au réchauffement. Dans la région des Grands Lacs, par exemple, une hausse de 1 °C de la température annuelle moyenne serait accompagnée d'une augmentation de 7 p. 100 à 8 p. 100 de l'évaporation réelle (*voir* Fernandes *et al.*, 2007), ce qui réduirait la disponibilité de l'eau.

Les niveaux d'eau dans les lacs de tout le Canada ont considérablement varié avec le temps et les récentes tendances à la baisse des niveaux dans la partie supérieure des Grands Lacs en raison de l'élévation des températures sont très impressionnantes (Mortsch *et al.*, 2006). On prévoit que les niveaux d'eau dans les Grands Lacs continueront à baisser dans l'avenir (*voir* la figure 15; *voir également* le chapitre 6; Moulton et Cuthbert, 2000; Mortsch *et al.*, 2006).

Au cours du siècle dernier, le niveau mondial des océans s'est élevé d'environ 0,17 m (plage de 0,12 m à 0,22 m; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). L'ampleur de l'élévation du niveau marin relatif le long des côtes canadiennes variera selon que la côte connaîtra un relèvement (glacio-isostatique) ou une subsidence de la croûte terrestre après la déglaciation survenue il y a des milliers d'années. Dans certaines parties du Canada, comme autour de la baie d'Hudson par exemple, les terres ont continué d'émerger malgré l'élévation mondiale du niveau des mers. Cependant, dans d'autres régions, dont la plus grande partie du littoral atlantique, la subsidence des terres est deux fois plus importante que l'élévation du niveau de la mer à certains endroits (McCulloch *et al.*, 2002). Ainsi, à Charlottetown, le niveau relatif de la mer s'est élevé de 0,32 m au cours du XX^{e} siècle (Forbes *et al.*, 2004). Sur la côte ouest, la hausse relative du niveau marin a été plus faible, soit de 4 cm à Vancouver, 8 cm à Victoria, 12 cm à

TABLEAU 10 : Tendances et changements dans les taux annuels d'évapotranspiration réelle recueillis depuis 40 ans, par zone climatique du Canada (Fernandes *et al.*, 2007).

Région	Tendances de l'ÉT	Changement de l'ÉT
	mm/an	mm au cours de 40 ans
Côte du pacifique	1,16	46,40
Sud de la Colombie-Britannique	1,24	49,68
Yukon	0,06	2,24
Prairies	0,03	1,12
Mackenzie	0,24	9,80
Northwest forest	0,22	8,80
Northeast	0,75	30,00
Great Lakes	0,69	27,56
Atlantic	1,04	41,48
Tundra	0,16	6,48

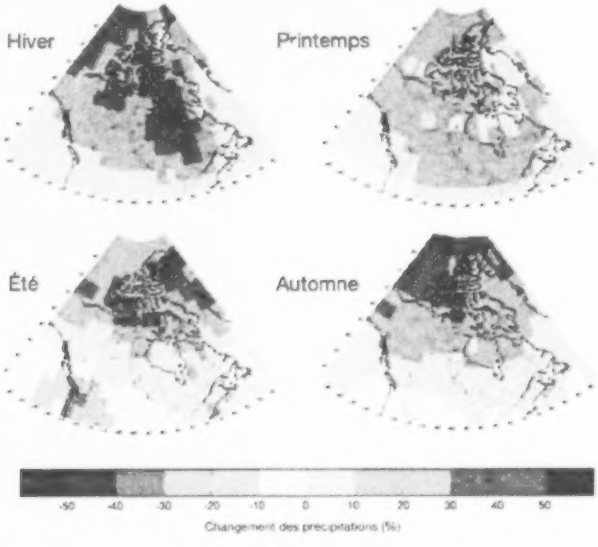


FIGURE 14 : Changement saisonnier des précipitations d'ici les années 2050 (par rapport à la période de 1961 à 1990), fondé sur la médiane de sept modèles de circulation générale et utilisant les scénarios d'émissions du *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES).

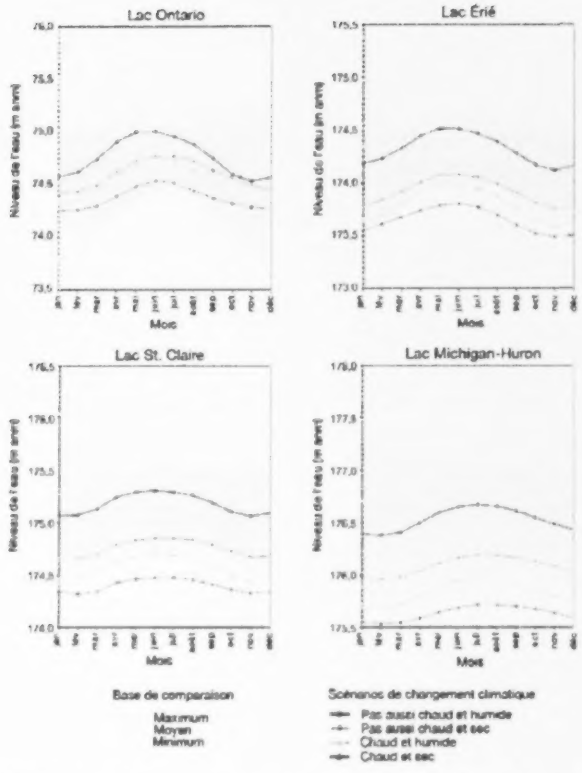


FIGURE 15 : Changements prévus des niveaux d'eau dans les Grands Lacs (Mortsch et al., 2006).

Prince Rupert et le niveau a baissé de 13 cm à Tofino pendant la même période de temps (British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002). Dans le nord, la côte du Yukon et celle des Territoires du Nord-Ouest qui lui est adjacente s'affaissant, l'élévation relative du niveau de la mer y est donc plus marquée que le long d'une bonne partie de la côte de l'Arctique.

Projections – températures et précipitations[5]

Selon les projections, l'ensemble du Canada, sauf peut-être la région extracôtière de l'Atlantique, devrait se réchauffer au cours des 80 prochaines années. Les changements du climat, pour la plupart, seront une poursuite des régimes et, fréquemment, une accélération des tendances mentionnées ci-dessus. L'ampleur du réchauffement ne sera donc pas uniforme à l'échelle du pays (*voir* la figure 16). Au cours du présent siècle, c'est dans l'Extrême-Arctique que les hausses de températures seront les plus importantes et, dans les régions du centre du pays, elles seront plus marquées que sur les côtes est et ouest (*voir* la figure 16). La figure 17 illustre également les différences régionales dans les projections des températures ainsi que le changement historique et projeté des températures pour six villes du Canada.

Sur une base saisonnière, le réchauffement devrait être plus marqué pendant l'hiver (*voir* la figure 16) en partie à cause de la rétroaction d'une réduction de la couverture de neige et de glace sur l'albédo de la surface des terres. D'ici les années 2050, on s'attend à ce que le réchauffement en hiver soit plus prononcé dans les régions de la baie d'Hudson et de l'Extrême-Arctique, et moins marqué dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique et dans le sud de la région de l'Atlantique. Une baisse de l'amplitude thermique de jour en hiver dans tout le pays indique que le réchauffement sera sans doute plus important la nuit que le jour (Barrow *et al.*, 2004). Cette tendance n'a pas été relevée pour les autres saisons. De plus, selon les projections des modèles, le réchauffement sera plus faible pendant l'été et l'automne, et l'élévation de la température au cours de l'été sera plus uniforme à l'échelle du pays, ce qui est conforme aux tendances constatées dont il était question précédemment.

La fréquence des températures extrêmement élevées (dépassant 30 °C) pendant l'été devrait s'accroître dans toutes les régions du Canada (*voir* la figure 18; Kharin *et al.*, 2007). On prévoit également que les vagues de chaleur seront plus intenses et plus fréquentes. Plusieurs chapitres à caractère régional (p. ex, les chapitres 5, 6 et 7)

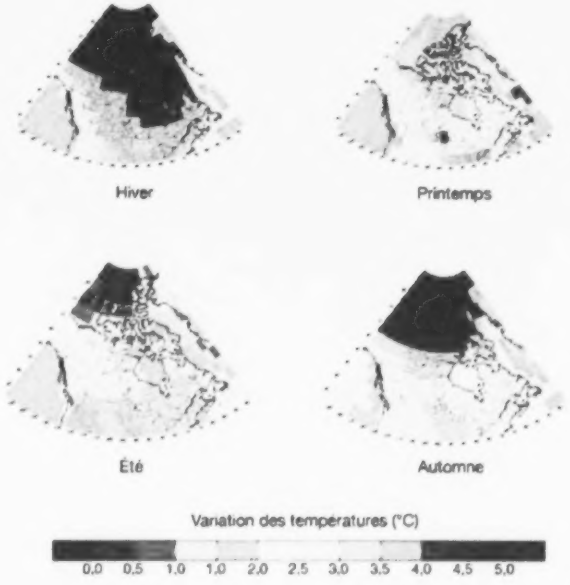


FIGURE 16 : Variation saisonnière de la température au Canada d'ici 2050 (par rapport à la période de 1961 à 1990) fondée sur la médiane de sept modèles de circulation générale et utilisant les scénarios d'émissions du *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES).

[5] Une grande partie des informations présentées ici sont extraites du rapport de Barrow *et al.* (2004) intitulé *Climate Variability and Change in Canada : Past, Present and Future*.

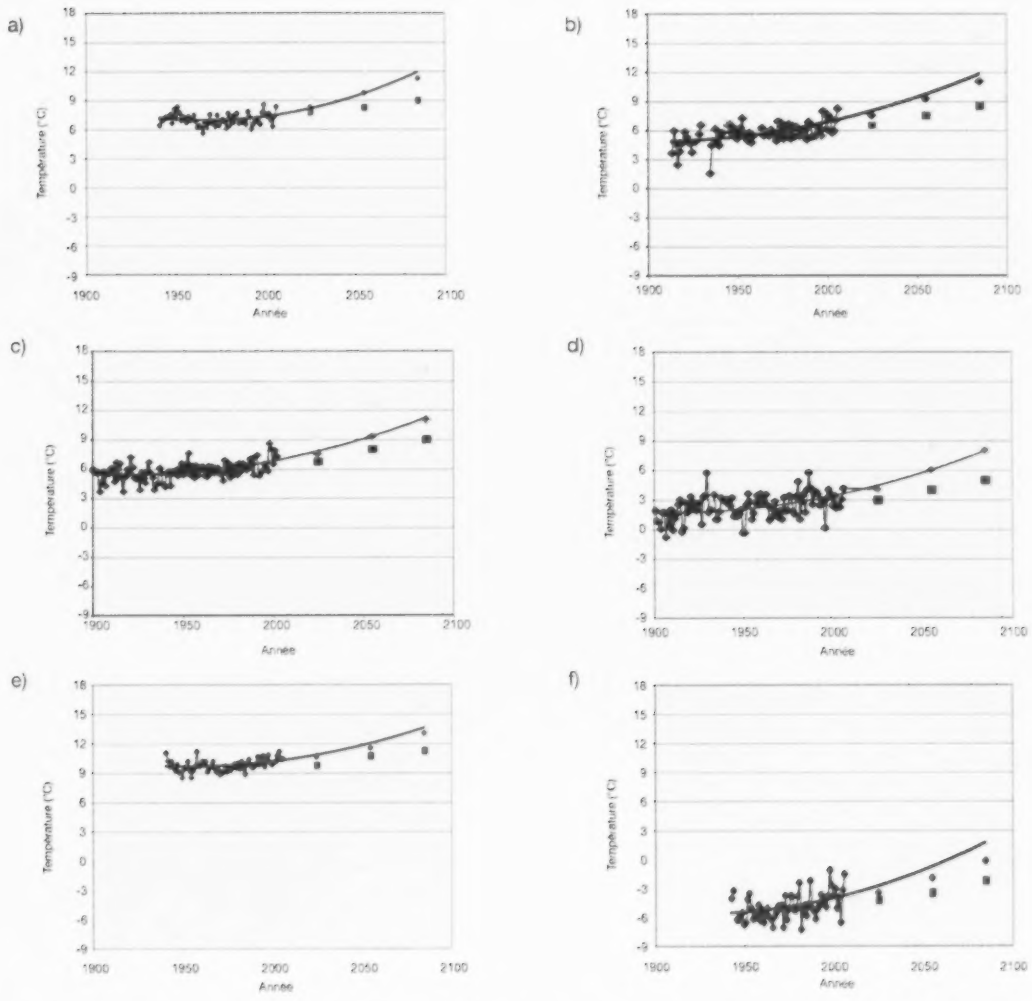


FIGURE 17 : Tendances historiques (losange bleu) et moyennes annuelles élevées (triangle jaune), moyennes (losange vert) et faibles (carré rose) des températures pour les années 2020, 2050 et 2080, pour six villes canadiennes : a) Yarmouth, en Nouvelle-Écosse; b) Drummondville, au Québec; c) Ottawa, en Ontario; d) Regina, en Saskatchewan; e) Victoria, en Colombie-Britannique; et f) Yellowknife, dans les Territoires du Nord-Ouest. Il est à remarquer que les données historiques présentées ici sont limitées en raison du peu de données disponibles, et les variations projetées proviennent d'un éventail de modèles de circulation générale utilisant les scénarios d'émissions du *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES).

abordent la question des impacts sur la santé des épisodes de chaleur accablante ainsi que de l'adoption de mesures d'adaptation efficaces pour y faire face. Les modèles projettent en même temps une baisse importante des jours de froid extrême (Kharin *et al.*, 2007), ce qui entrainera une diminution globale de l'indice de rigueur du climat (Barrow *et al.*, 2004).

Il est plus difficile d'établir des projections de précipitations dans l'avenir, les changements à cet égard étant moins statistiquement significatifs que pour les températures (Barrow *et al.*, 2004). C'est pourquoi les résultats des modèles présentent une plage plus grande pour les projections des précipitations (*voir* la figure 19). Les précipitations totales annuelles devraient augmenter dans toutes les régions du pays au cours du présent siècle. Un gradient sud-nord est évident d'ici les années 2080, avec une augmentation des précipitations allant de 0 à 10 p. 100 dans l'extrême sud et jusqu'à 40 à 50 p. 100 dans l'Extrême-Arctique. Cependant, du fait de l'évaporation accrue induite par des températures plus élevées, de nombreuses régions connaîtront un déficit d'humidité en dépit de l'accroissement des précipitations.

Les changements saisonniers des précipitations auront généralement des répercussions plus grandes, à l'échelle régionale, que les totaux annuels. Dans la majeure partie du sud du Canada, les augmentations projetées sont faibles (0 à 10 p. 100 d'ici les années 2050) pendant l'été et l'automne. Dans certaines régions, surtout dans le centre-sud des Prairies et dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique, on prévoit même que les précipitations diminueront

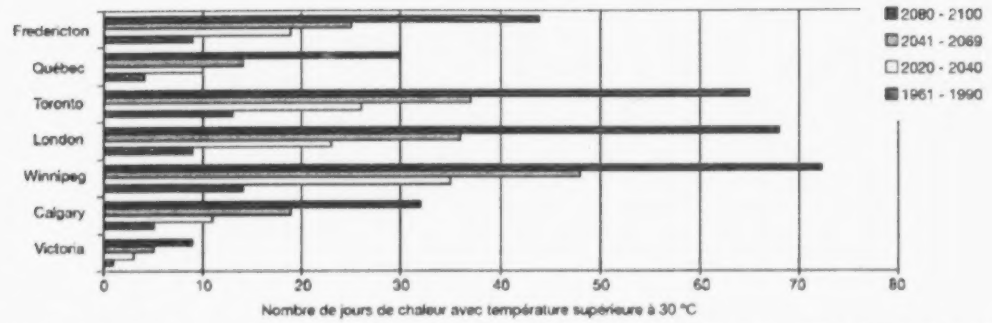


FIGURE 18 : Nombre de jours avec des températures supérieures à 30 °C, pendant les périodes d'observation (1961 à 1990) et les périodes futures (2020 à 2040; 2041 à 2069; et 2080 à 2100; Hengeveld *et al.* 2005).

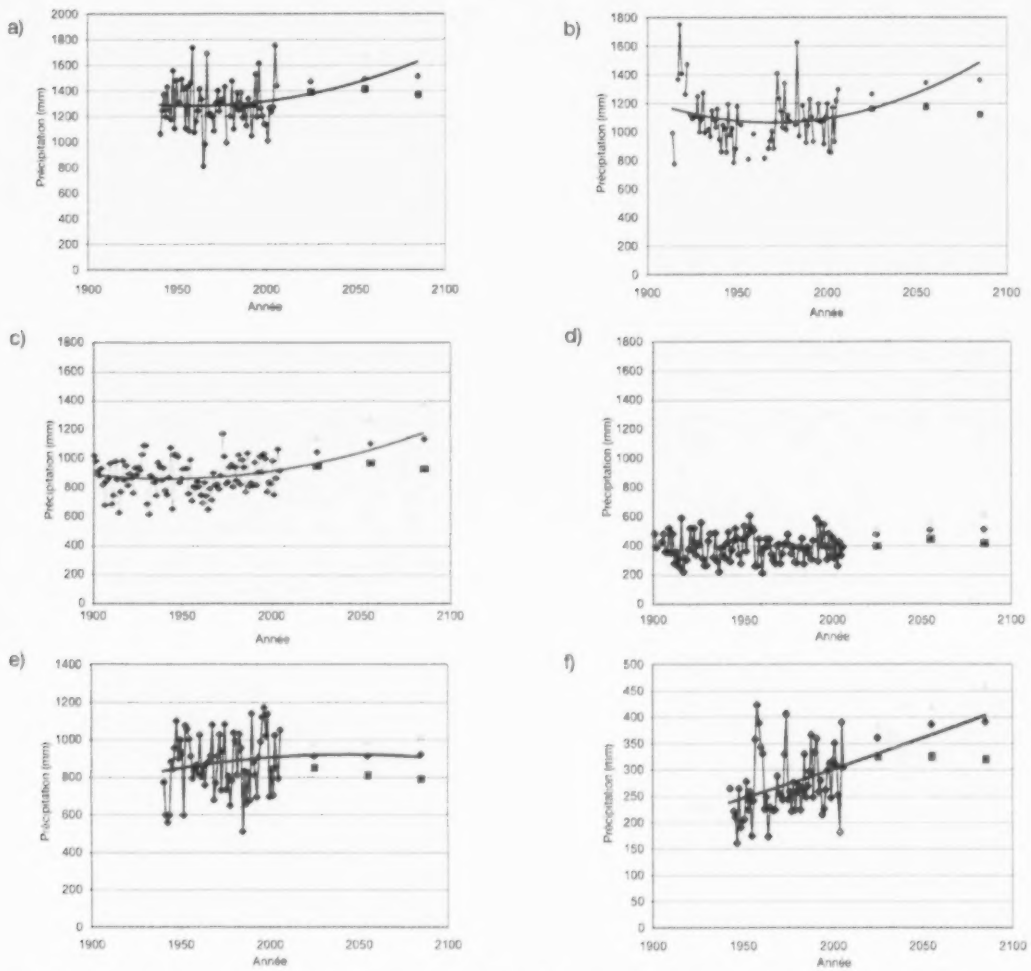


FIGURE 19 : Tendances historiques (losange bleu) et totaux annuels élevées (triangle jaune), moyennes (losange vert) et faibles (carré rose) des précipitations pour les années 2020, 2050 et 2080, pour six villes canadiennes : a) Yarmouth, en Nouvelle-Écosse; b) Drummondville, au Québec; c) Ottawa, en Ontario; d) Regina, en Saskatchewan; e) Victoria, en Colombie-Britannique; et f) Yellowknife, dans les Territoires du Nord-Ouest. Il est à remarquer que les données historiques présentées ici sont limitées en raison du peu de données disponibles et les variations projetées proviennent d'un éventail de modèles de circulation générale utilisant les scénarios d'émissions du *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES).

pendant l'été (*voir* la figure 14). Il y aura donc moins d'eau disponible pendant la saison de croissance dans de grandes régions agricoles. Parmi les autres changements importants relatifs aux précipitations figurent l'augmentation de la proportion de précipitations tombant sous forme de pluie plutôt que de neige, et une augmentation des épisodes de précipitations quotidiennes extrêmes (*voir* la figure 20; Kharin et Zwiers, 2000).

Autres changements projetés

L'élévation du niveau de la mer se poursuivra au cours du présent siècle, avec des projections mondiales de 0,18 m à 0,59 m d'ici 2100 (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Les changements du niveau marin relatif au Canada demeureront semblables aux régimes constatés pendant le XX^{e} siècle. Ainsi, dans les régions qui connaissent un relèvement de la croûte terrestre (p. ex., la baie d'Hudson, des portions de la

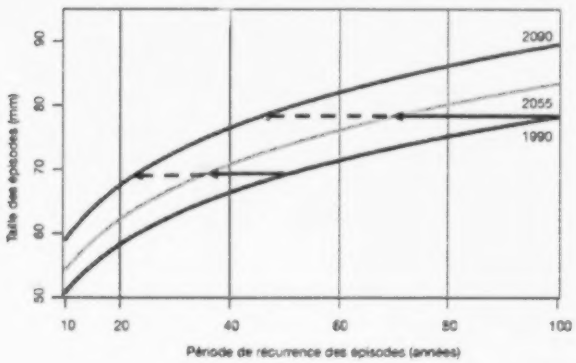


FIGURE 20 : Changements projetés des épisodes de précipitations extrêmes sur 24 heures, en Amérique du Nord, entre les latitudes 25° Nord et 65° Nord (*d'après* Kharin et Zwiers, 2000).
Source : Environnement Canada.

côte de la Colombie-Britannique et la côte du Labrador), les impacts de l'élévation seront généralement moins marqués que dans les régions qui sont présentement sujettes à la subsidence (p. ex., la côte de la mer de Beaufort, la majeure partie de la côte Atlantique et le delta du Fraser). Les effets de l'élévation du niveau marin sur les collectivités et les activités côtières, comme le transport de marchandises et le tourisme, sont présentés plus en détail dans les chapitres 3, 4, 5 et 8.

L'élévation du niveau de la mer s'accompagne d'une augmentation du risque d'inondations causées par des ondes de tempête. Ce type d'inondation sera donc plus fréquent dans l'avenir, en particulier dans les régions déjà plus touchées. À Charlottetown, par exemple, les inondations causées par des ondes de tempête, qui sont survenues à six reprises entre 1911 et 1998, risquent de se produire tous les ans d'ici 2100 si aucune mesure d'adaptation significative n'est adoptée pour protéger la ville (McCulloch *et al.*, 2002).

On ne peut établir de relation simple et directe entre la glace de mer et la température du fait que des interactions complexes, associées à des changements des régimes de circulation atmosphérique et océanique (p. ex., les oscillations arctique et nord-atlantique), ont une incidence considérable sur les régimes de la glace de mer (Barrow *et al.*, 2004). La réduction de l'étendue de la glace de mer continuera donc de varier aux échelles locale et régionale, comme elle l'a fait au cours du dernier siècle (Barrow *et al.*, 2004). On prévoit, toutefois, que l'étendue des glaces dans l'Arctique diminuera pendant le XXI^{e} siècle et que la perte de glace sera plus grande en été qu'en hiver (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a; Anisimov *et al.*, 2007). Bien que les estimations de la réduction varient d'un modèle de climat à l'autre (*voir* le chapitre 3), plusieurs scénarios indiquent que de grandes portions de l'océan Arctique seront de façon saisonnière libres de glace d'ici la fin du XXI^{e} siècle (Solomon *et al.*, 2007).

L'élévation du niveau de la mer, les tempêtes ainsi que la diminution de l'étendue des glaces de mer contribuent à faire croître l'érosion côtière (*voir* les chapitres 3 et 4; Manson *et al.*, 2005). Dans les régions nordiques, la fonte du pergélisol va rendre les côtes plus vulnérables à l'érosion.

4.4 CONCLUSIONS

Le climat du Canada est en train de changer et les projections indiquent que cet état de choses va se poursuivre. Outre les changements progressifs des températures et des précipitations, on a constaté et projeté des changements des températures et des précipitations extrêmes, de l'élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête, de l'étendue de la glace de mer et de nombreux autres paramètres de nature climatique ou liés au climat. Ces changements continueront de se produire dans un contexte socio-économique lui-même en évolution et susceptible d'avoir une incidence considérable sur les impacts nets. Les différences régionales du climat projeté, de la sensibilité et des facteurs régissant la capacité d'adaptation (p. ex., l'accès à des ressources économiques, le profil démographique) font que la variabilité varie de façon considérable à la grandeur du pays, à la fois à l'intérieur d'une région et d'une région à l'autre. Les chapitres à caractère régional du présent rapport mettent ces différences en évidence.

5 [illegible]

5.1 [illegible]

[illegible]

5.2 [illegible]

[illegible]

une plus grande confiance lorsque la quantité et la qualité des recherches disponibles sur le sujet étaient élevées. L'expression de la probabilité était la plus forte lorsque les projections concordaient avec les tendances historiques et/ou avec des relations bien établies du système climatique et quelle était appuyée par des analyses de modèles indépendantes.

5.3 UTILISATION DES SCÉNARIOS

Scénarios climatiques

En ce qui concerne le changement climatique à venir, l'évaluation ne met pas l'accent sur un scénario climatique ou un ensemble de scénarios en particulier. Comme elle intègre et analyse des études avant des approches différentes de la question des scénarios climatiques et de leurs hypothèses, l'évaluation tente de placer les résultats de ces études dans le contexte d'une gamme complète de futurs climatiques vraisemblables.

Chaque chapitre à caractère régional comprend une section décrivant le changement climatique projeté pour la région et issu d'expériences sur le changement effectuées à l'aide de sept modèles de circulation générale (MCG), en ayant recours à un scénario d'illustration tiré des six groupes de scénarios d'émissions identifiés dans le rapport spécial du GIEC intitulé *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES). Ces scénarios, qui étaient les plus récents dont on disposait au début du processus de la présente évaluation, soit en 2005, ont été élaborés à partir des recommandations de l'Équipe spéciale chargée par le GIEC de la gestion des données et des scénarios servant à l'évaluation du climat et de ses incidences. Les modèles climatiques sélectionnés sont conformes aux recommandations de ce groupe, et les scénarios établissent les changements du climat (par rapport à la période de référence de 1961 à 1990) pour les années 2020, 2050 et 2080, soit les trois périodes d'étude recommandées. Les auteurs de chaque chapitre ont reçu les résultats des scénarios sous forme de diagrammes de dispersion, de cartes et de tracés en rectangle et moustaches (*voir* l'annexe 1). Ils ont eux-mêmes décidé quels formats de graphique apparaîtraient dans leur chapitre. Certains chapitres présentent des informations additionnelles provenant de scénarios climatiques. Dans ce cas, les modèles et les scénarios d'émissions utilisés sont clairement indiqués.

Scénarios socio-économiques

Il n'existe pas de scénarios socioéconomiques à long terme utiles se prêtant aux études sur les impacts du changement climatique et sur l'adaptation pour toutes les régions du Canada. Les auteurs de chaque chapitre ont donc été encouragés à employer toutes les données pertinentes disponibles. Statistique Canada offre des données exhaustives sur les tendances démographiques et socio-économiques historiques à diverses échelles (p. ex., nationale, provinciale, région métropolitaine de recensement). L'exode rural, les changements de la répartition selon l'âge ainsi que les tendances du niveau de revenu et du produit intérieur brut sont des exemples de tendances pertinentes aux fins d'évaluation de la vulnérabilité (*voir* http://www41.statcan.ca/ceb_r000_f.htm). Statistique Canada rend également disponibles des projections des chiffres de population et de la répartition selon l'âge par sexe pour les années 2011, 2016, 2021, 2026 et 2031. D'autres sources de données socio-économiques sont mentionnées dans les divers chapitres de la présente évaluation.

RÉFÉRENCES

Adger, W.N. « Vulnerability », *Global Environmental Change*, vol. 16, n° 3, 2006, pp. 268–281.

Adger, W.N. et P.M. Kelly « Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, n° 3–4, 1999, pp. 253–66.

Anisimov, O.A., D.G. Vaughan, T. Callaghan, C. Furgal, H. Marchant, T.D. Prowse, H. Vilhjálmsson et J.E. Walsh « Polar regions in impacts, adaptation and vulnerability », chapitre 15 dans *Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge , Royaume-Uni, 2007, pp. 653–685, <http://www.ipcc-wg2.org/>, [consultation : 31 août 2007].

Barrow, E., B. Maxwell et P. Gachon (éd.), Climate variability and change in Canada: past, present and future, Service météorologique du Canada, Environnement Canada, Toronto, Ontario, *ACSD Science Assessment Series* n° 2, 2004, 114 p.

Bates, N.R., A.R. Mercer, D.A. Hansell et J.T. Mathis, « An increasing CO_2 sink in the Arctic Ocean due to sea-ice loss », *Geophysical Research Letters*, vol. 33, (L23609),2006, doi:10.1029/2006GL027028.

Berkes, F. et H. Fast, « Aboriginal peoples: the basis for policy-making towards sustainable development », dans *Achieving Sustainable Development*, A. Dale et J.B. Robinson (éd.), University of British Columbia Press, Vancouver, Colombie-Britannique, 1996, pp. 264–264.

British Columbia Ministry of Water, Land and Air Protection, *Indicators of Climate Change for British Columbia*, BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002, 50p., <http://www.env.gov.bc.ca/air/climate/indicat/pdf/indcc.pdf> [consultation : 18 mai 2007].

Brooks, N. *Vulnerability, risk and adaptation: a conceptual framework*, Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 38, 2003, <http://www.tyndall.ac.uk/publications/working_papers/wp38.pdf>, [consultation : 15 mai 2007].

Brooks, N., W.N. Adger et P.M. Kelly « The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation », *Global Environmental Change*, vol. 15, n° 2, 2005, pp. 151–163.

Brown, J., K.M. Hinkel et F.E. Nelson (éd.) « The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) Program: research designs and initial results », *Polar Geography*, vol. 24, n° 3, 2000, pp. 165–258.

Carter, T.R., E.L. La Rovere, R.N. Jones, R. Leemans, L.O. Mearns, N. Nakicenovic, A.B. Pittock, S.M. Semenov et J. Skea, « Developing and applying scenarios », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 145–190, <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/index.htm>, [consultation : 15 mai 2007].

Cava, D. Regional climate projections with RCMs, présentation faite à la conférence Application of Climate Models to Water Resources Management, les 18 et 19 novembre 2004 à Victoria, Colombie-Britannique, Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN), Ressources hydriques, 2004, <http://www.ouranos.ca/doc/CCIARN_CAVA.pdf>, [consultation : 4 mai 2007].

Centre for Indigenous Environmental Resources, *Climate change implications for winter road access trails and Manitoba First Nations*, rapport remis en novembre 2004 à Ressources naturelles Canada et Affaires indiennes et du Nord Canada, 2004, 66 p. plus annexes, <http://www.cier.ca/information and resources/publications and products.aspx?id=190>, [consultation : 15 mai 2007].

Demuth, M.N., A. Pietroniro et T.E.M.J. Ouarda, *Terrestrial signals indicating resulting from recent glacier fluctuations in the eastern slopes of the Canadian Rocky Mountains*, rapport rédigé avec le soutien du Prairie Adaptation Research Collaborative, 2002.

Déqué, M., R.G. Jones, M. Wild, F. Giorgi, J.H. Christensen, D.C. Hassell, P.L. Vidale, B. Rockel, D. Jacob, E. Kjellström, M. de Castro, F. Kucharski et B. van den Hurk. « Global high resolution versus Limited Area Model climate change projections over Europe: quantifying confidence level from PRUDENCE results », *Climate Dynamics*, vol. 25, n° 6, 2005, pp. 653–670.

Environnement Canada. Tendances du système climatique et biophysique de la Terre au 20e siècle, *Science du changement climatique*, Environnement Canada, 2003, <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/education/scienceofclimatechange/understanding/trends/index_f.html>, [consultation : 15 mai 2007].

Environnement Canada. Température et précipitations dans une perspective historique: annuelles 2006, *Bulletin des tendances et des variations climatiques*, Environnement Canada, 2006, <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/ccrm/bulletin/annual06/national_f.cfm>, [consultation : 15 mai 2007].

European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA) community members. « Eight glacial cycles from an Antarctic ice core », *Nature*, vol. 429, 10 juin, 2004, pp. 623–628.

Fernandes, R., V. Korolevych et S. Wang. Trends in land evapotranspiration over Canada for the period 1960–2000 based upon in-situ climate observations and land-surface model », *Journal of Hydrometeorology*, 2007.

Forbes, D.L., G.S. Parkes, G.K. Manson et L.A. Ketch. « Storms and shoreline retreat in the southern Gulf of St. Lawrence », *Marine Geology*, vol. 210, n° 1–4, 2004, pp. 169–204.

Fussel, H. et R.J.T. Klein. « Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking », *Climatic Change*, vol. 75, n° 3, 2006, pp. 301–329.

Gillett, N.P., A.J. Weaver, F.W. Zwiers et M.D. Flannigan. « Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires », *Geophysical Research Letters*, vol. 31, n° 18, (L18211), 2004, pp. 1–4.

Grothmann, T. et A. Patt. « Adaptive capacity and human cognition: the process of individual adaptation to climate change », *Global Environmental Change*, vol. 15, n° 3, 2005, pp. 199–213.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Annexe B: glossaire » dans *Bilan 2001 des changements climatiques : rapport synthèse, contribution des groupes de travail I, II et III* au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, R.T. Watson et Équipe de rédaction principale Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001a, pp. 365–389, <http://www.ipcc.ch/pub/syrglossfrench.pdf>, [consultation : 15 mai 2007].

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Résumé à l'intention des décideurs », dans *Bilan 2001 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White (éd.), contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001b, pp. 1–18, <http://www.ipcc.ch/pub/wg2SPMfinal.pdf>, [consultation : 9 mai 2007].

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for policymakers », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), contribution du Groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001c, pp. 1–20, <http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf>, [consultation : 9 mai 2007].

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for policymakers », dans *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007a, <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>, [consultation : 8 mai 2007].

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for policymakers », dans *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.),M.L. Parry, O.F. canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007b, pp. 7-22, <http://www.ipcc.ch/SPM13apr07.pdf>, [consultation : 27 mai 2007].

Hegerl, G.C., F.W. Zwiers, P. Braconnot, N.P. Gillett, Y. Luo, J.A. Marengo Orsini, N. Nicholls, J.E. Penner et P.A. Stott. « Understanding and attributing climate change », chapitre 9 dans *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.), <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Ch09.pdf> [consultation : 25 juillet 2007].

Hengeveld, H., B. Whitewood et A. Fergusson. *Une introduction au changement climatique : une perspective canadienne*, Environnement Canada, 2005, 35 p., <http://www.msc.ec.gc.ca/education/scienceofclimatechange/understanding/icc/index_f.html>, [consultation : 15 mai 2007].

Huntington, H., S. Fox, F. Berkes et I. Krupnik. « The changing Arctic: indigenous perspectives », chapitre 3 dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, New York, New York, 2005a, pp. 61–98, <http://www.acia.uaf.edu/pages/scientific.html> [consultation : 15 mai 2007].

Huntington, H., G. Weller, E. Bush, T.V. Callaghan, V.M. Kattsov et M. Nuttall. « An introduction to the Arctic Climate Impact Assessment », chapitre 1 dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, New York, New York, 2005b, pp. 1–19, <http://www.acia.uaf.edu/pages/scientific.html>, [consultation : 6 mai 2007].

Huntington T.G. « Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis », *Journal of Hydrology*, vol. 319, 2006, pp. 83–89.

Hutterli, M.A., C.C. Raible et T.F. Stocker. « Reconstructing climate variability from Greenland ice sheet accumulation: an ERA40 study », *Geophysical Research Letters*, vol. 32, n° 23, art. L23712, 2005, pp. 1–4.

Hyndman, R.D. et S.R. Dallimore. « Natural gas hydrate studies in Canada », *The Recorder*, vol. 26, 2001, pp. 11–20.

Institut canadien d'études climatologiques. *Frequently asked questions — downscaling background*, Institut canadien d'études climatologiques, 2002, <http://www.cics.uvic.ca/scenarios/index.cgi?More_Info-Downscaling_Background>, [consultation : 8 mai 2007].

Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment. *Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment*, version 1, préparé par T.R. Carter, M. Hulme et M. Lal, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, Intergovernmental Panel on Climate Change, 1999, 69 p., <http://www.ipcc-data.org/guidelines/ggm_no1_v1_12-1999.pdf>, [consultation : 9 mai 2007].

International Scientific Steering Committee. *Avoiding dangerous climate change: international symposium on the stabilisation of greenhouse gas concentrations*, Hadley Centre, Met Office, Exeter, Royaume-Uni, 2005, <http://www.stabilisation2005.com/Steering_Commitee_Report.pdf>, [consultation : 9 mai 2007].

Kelly, P.M. et W.N. Adger. « Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation », *Climatic Change*, vol. 47, n° 4, 2000, pp. 325–352.

Kharin, V.V. et F.W. Zwiers. « Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM », *Journal of Climate*, vol. 13, n° 21, 2000, pp. 3760–3788.

Kharin, V.V., F.W. Zwiers, X. Zhang et G.C. Hegerl. « Changes in temperature and precipitation extremes in the IPCC ensemble of global coupled model simulations », *Journal of Climate*, vol. 20, no 8, 2007, p. 1419-1444.

Klein, R.J.T., M. Alam, I. Burton, W.W. Dougherty, K.L. Ebi, M. Fernandes, A. Huber-Lee, A.A. Rahman et C. Swartz. *Application of environmentally sound technologies for adaptation to climate change*, Secrétariat de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, Bonn, Allemagne, Publication technique FCCC/TP/2006/2, 2006, 107 p.

Klein, R.J.T., R.J. Nicholls et N. Mimura. « Coastal adaptation to climate change: can the IPCC technical guidelines be applied? », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, n° 3–4, 1999, pp. 239–252.

Lambert, S.J. et J.C. Fyfe. « Changes in winter cyclone frequencies and strengths simulated in enhanced greenhouse warming experiments: results from the models participating in the IPCC diagnostic exercise », *Climate Dynamics*, vol. 26, n° 7–8, 2006, pp. 713–728.

Laprise, R., D. Caya, A. Frigon et D. Paquin. « Current and perturbed climate as simulated by the second-generation Canadian Regional Climate Model (CRCM-II) over northwestern North America », *Climate Dynamics*, vol. 21, 2003, pp. 405–421.

Laprise, R., D. Caya, M. Giguère, G. Bergeron, H. Côté, J.-P. Blanchet, G.J. Boer et N.A. McFarlane. « Climate and climate change in western Canada as simulated by the Canadian Regional Climate Model », *Atmosphere-Ocean*, vol. 36, n° 2, 1998, pp. 119–167.

Lim, B., E. Spanger-Siegfried, I. Burton, E. Malone et S. Huq (éd.). *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures*, Cambridge University Press, New York, New York, 2005, pp. 165–181.

Manning, M., M. Petit, D. Easterling, J. Murphy, A. Patwardhan, H.H. Rogner, R. Swart et G. Yohe (éd.). Workshop report from IPCC workshop on describing scientific uncertainties in climate change to support analysis of risk and options, atelier tenu du 11 au 13 mai 2004 à la National University of Ireland, Maynooth, Irlande, 2004, 138 p. <http://ipcc-wg1.ucar.edu/meeting/URW/product/URW_Report_v2.pdf > [consultation : 9 mai 2007].

Manson, G.K., S.M. Solomon, D.L. Forbes, D.F. Atkinson et M.Craymer. « Spatial variability of factors influencing coastal change in the western Canadian Arctic », *Geo-Marine Letters*, vol. 25, n° 2–3, 2005, pp. 138–145.

Mason, F. « The Newfoundland cod stock collapse: a review and analysis of social factors », *Electronic Green Journal*, n° 17, décembre, 2002, <http://egj.lib.uidaho.edu/egj17/mason1.html>, [consultation : 9 mai 2007].

McBean, G., G. Alekseev, D. Chen, E. Førland, J. Fyfe, P.Y. Groisman, R. King, H. Melling, R. Vose et P.H. Whitfield. « Arctic climate: past and present », chapitre 2 dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, New York, New York, 2005, pp. 21–60, <http://www.acia.uaf.edu/pages/scientific.html>. [consultation : 9 mai 2007].

McCulloch, M.M., D.L. Forbes, R.W. Shaw et l'équipe scientifique du CCAF A041. *Coastal Impacts of climate change and sea level rise on Prince Edward Island*, Commission géologique du Canada, Dossier public 4261, 2002, 62 p.

Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver et Z.-C. Zhao « Global climate projections », chapitre 10 dans *Climate Change 2007: The Physical*

Science Basis, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.), contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007, pp. 747-845, <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Ch10.pdf>, [consultation : 9 mai 9, 2007].

Meehl, G.A., W.M. Washington, B.D. Santer, W.D. Collins, J.M. Arblaster, A. Hu, D.M. Lawrence, H. Teng, L.E. Buja et W.G. Strand. « Climate change projections for the twenty-first century and climate change commitment in the CCSM3 », *Journal of Climate*, vol. 19, nº 11, 2006, pp. 2597–2616.

Mendelsohn, R. « The role of markets and governments in helping society adapt to a changing climate », *Climatic Change*, vol. 78, nº 1, 2006, pp. 203–215.

Metz, B., O. Davidson, J.-W. Martens, S. Van Rooijen et L. Van Wie Mcgrory (éd.). *Methodological and Technological Issues in Technology Transfer*, rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, New York, New York, 2000, 432 p., <http://www.grida.no/climate/ipcc/tectran/index.htm>, [consultation : 9 mai 2007].

Mortsch, L., J. Ingram, A. Hebb et S. Doka. *Great Lakes coastal wetland communities: vulnerabilities to climate change and response to adaptation strategies*, Environnement Canada, 2006, <http://manu.uwaterloo.ca/research/aird/wetlands/index_files/page0012.htm> [consultation : 15 mai 2007].

Moulton, R. et D. Cuthbert. « Cumulative impacts/risk assessment of water removal or loss from the Great Lakes–St. Lawrence River system », *Journal canadien des ressources hydriques*, vol. 25, nº 2, 2000, pp. 181–208.

National Snow and Ice Data Center. « Sea ice decline intensifies », *National Snow and Ice Data Center, 2005*, <http://nsidc.org/news/press/20050928_trends_fig1.html>, [consultation : 11 juillet 2007].

Nickels, S., C. Furgal, M. Buell et H. Moquin. *Unikkaaqatigit — putting the human face on climate change: perspectives from Inuit in Canada*, publication conjointe du Inuit Tapirit Kanatami, du Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments à l'Université Laval, et le Ajunnginiq Centre a la National Aboriginal Health Organization, 2006, 195 p., <http://www.itk.ca/environment/climate-change-book.php>, [consultation : 15 mai 2007].

Nixon, M., C. Tarnocai et L. Kutny. *Long-term active layer monitoring, Mackenzie Valley, Northwest Canada*, comptes-rendus de la 8e conference internationale sur le pergélisol, du 20 au 25 juillet 2003, à Zurich, Suisse, W. Haeberli et D. Brandova (éd.), *International Permafrost Association*, vol. 8, nº 2, 2003, pp. 821–826.

Parry, M. et T. Carter. *Climate Impact and Adaptation Assessment: A Guide to the IPCC Approach*, Earthscan Publications Ltd., Londres, Royaume-Uni, 1998, 166 p.

Plummer, D.A., D. Caya, A. Frigon, H. Côté, M. Giguère, D. Paquin, S. Biner, R. Harvey et R. de Elia. « Climate and climate change over North America as simulated by the Canadian RCM », *Journal of Climate*, vol. 19, nº 13, 2006, pp. 3112–3132.

Ressources naturelles Canada. « Toutes les communautés dépendantes des ressources, 2001, Ressources naturelles Canada, Atlas du Canada, 2006, <http://atlas.nrcan.gc.ca/site/français/maps/economic/rdc2001/rdcall>, [consultation : 11 juillet 2007].

Santé Canada. *Changement climatique, santé et bien être : notions préliminaires aux politiques pour le nord canadien*, Santé de l'environnement et du milieu du travail, Santé Canada, 2005, <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/climat/policy_primer_north-nord_abecedaire_en_matiere/know-develop-connais_f.html>, [consultation : 15 mai 2007].

Schipper, E.L.F. « Conceptual history of adaptation in the UNFCCC process », *Review of European Community and International Environmental Law*, vol. 15, nº 1, 2006, pp. 82–92.

Schneider, S.H. « Abrupt non-linear climate change, irreversibility and surprise », *Global Environmental Change*, vol. 14, no 3, 2004, p. 245–258.

Shabbar, A. et W. Skinner. « Summer drought patterns in Canada and the relationship to global sea surface temperatures », *Journal of Climate*, vol. 7, nº 14, 2004, pp. 2866–2880.

Smit, B. et O. Pilifosova. « From adaptation to adaptive capacity and vulnerability reduction », dans *Climate Change, Adaptive Capacity and Development*, J.B. Smith, R.J.T. Klein et S. Huq (éd.), Imperial College Press, Londres, Royaume-Uni, 2003, pp. 9–28.

Smit, B. et J. Wandel. « Adaptation, adaptive capacity and vulnerability », *Global Environmental Change*, vol. 16, nº 3, 2006, pp. 282–292.

Smit, B., R.J.T. Klein et R. Street. « The science of adaptation: a framework for assessment », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, 1999, pp. 199–213.

Smit, B., O. Pilifosova, I. Burton, B. Challenger, S. Huq, R.J.T. Klein et G. Yohe. « Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 877–912, <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/641.htm> [consultation : 9 mai 2007].

Smith, J.B., R.J.T. Klein et S. Huq. « Introduction » dans *Climate Change, Adaptive Capacity and Development*, J.B. Smith, R.J.T. Klein et S. Huq (éd.), Imperial College press, Londres, Royaume-Uni, 2003, pp. 1–9.

Smith, S.L., M.M. Burgess, D. Riseborough et F.M. Nixon. « Recent trends from Canadian permafrost thermal monitoring network sites », *Permafrost and Periglacial Processes*, vol. 16, 2005, pp. 19–30.

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood et D. Wratt. « Technical summary », dans *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.), contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007, <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_TS.pdf> [consultation : 9 mai 2007].

Spahni, R., J. Chappellaz, T.F. Stocker, L. Loulergue, G. Hausammann, K. Kawamura, J. Flückiger, J. Schwander, D. Raynaud, V. Masson-Delmotte et J. Jouzel. « Atmospheric science: atmospheric methane and nitrous oxide of the late Pleistocene from Antarctic ice cores », *Science*, vol. 310, nº 5752, 2005, pp. 1317–1321.

Statistique Canada. *Projections démographiques pour le Canada, les provinces et les territoires*, Statistique Canada, nº de catalogue 91-520-XIE, 2005, <http://www.statcan.ca/bsolc/français/bsolc?catno=91-520-X&CHROPG=1> [consultation : 7 mai 2007].

Statistique Canada. *Estimations de la population, selon le groupe d'âge et le sexe, Canada, provinces et territoires, annuel*, Statistique Canada, Tableau CANSIM 051-001, 2006.

Statistique Canada. *Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, selon le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN), annuel (dollars), 1981-2006*, Statistique Canada, Tableau CANSIM 379-0017, 2007a.

Statistique Canada. *Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, agrégations industrielles spéciales fondées sur le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN), annuel (dollars), 1981-2006*, Statistique Canada, Tableau CANSIM 379-0020, 2007b.

Statistique Canada. *Produit intérieur brut par industrie*, Statistique Canada, no de catalogue 15-001-XIF, 2007c.

Statistique Canada. *Chiffres de population et des logements, Canada et localités désignées, recensements de 2006 et 2001*, données intégrales, Statistique Canada, no de catalogue 97-550-XWF2006002, 2007d, <http://www12.statcan.ca/français/census06/data/popdwell/Table.cfm?T=1301&SR=726&S=9&O=A&RPP=25&PR=0&CMA=0>, [consultation : 8 mai 2007].

Statistique Canada. *Portrait de la population canadienne en 2006 : tableaux de données, figures, cartes et animations, recensement de 2006*, série « Analyses », Statistique Canada, 2007e, <http://www12.statcan.ca/français/census06/analysis/popdwell/tables.cfm>, [consultation : 24 mai 2007].

Stern, N. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, New York, New York, 2006, 712 p.

Taylor, A.E., K. Wang, S.L. Smith, M.M. Burgess et A.S. Judge. « Canadian Arctic permafrost observatories: detecting contemporary climate change through inversion of subsurface temperature time-series », *Journal of Geophysical Research*, vol. 111, nº 2, art. B02411, 2006.

United Kingdom Climate Impacts Programme. *A changing climate for business: business planning for the impacts of climate change*, United Kingdom Climate Impacts Programme, 2003, <http://data.ukcip.org.uk/resources/publications/documents/99.pdf>, [consultation : 8 mai 2007].

Vincent, L.A. et É. Mekis. « Changes in daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the twentieth century », *Atmosphere-Ocean*, vol. 44, nº 2, 2006, pp. 177–193.

Walker, B. et L.A. Meyers. « Thresholds in ecological and social-ecological systems: a developing database », *Ecology and Society*, vol. 9, nº 2, art. 3, 2004.

Walker, B., C.S. Holling, S.R. Carpenter et A. Kinzig. « Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems », *Ecology and Society*, vol. 9, nº 2, art. 5, 2004.

Webster, P.J., G.J. Holland, J.A. Curry et H.-R. Chang. « Atmospheric science: changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment », *Science*, vol. 309, nº 5742, 2005, pp. 1844–1846.

Yohe, G. et R.S.J. Tol. « Indicators for social and economic coping capacity — moving toward a working definition of adaptive capacity », *Global Environmental Change*, vol. 12, nº 1, 2002, pp. 25–40.

Zhang, X., L.A. Vincent, W.D. Hogg et A. Niitsoo. « Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century », *Atmosphere-Ocean*, vol. 38, nº 3, 2000, pp. 395–429.

Zhang, X., F.W. Zwiers et P.A. Stoot. « Multimodel multisignal climate change detection at regional scale », *Journal of Climate*, vol. 19, nº 17, 2006, pp. 4294–4307.

ANNEXE 1

PRÉSENTATION GRAPHIQUE DES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Diagrammes de dispersion (figure A-1)

Les diagrammes de dispersion permettent de visualiser rapidement les changements des températures et des précipitations moyennes de la région à l'étude. Le nombre de mailles correspondant à la région couverte par un chapitre dépend du MCG, puisque la résolution spatiale varie entre les modèles du climat. Chaque symbole de couleur représente un scénario de changement climatique, identifié dans la légende du diagramme. De plus, des carrés gris sur les graphiques indiquent la représentation de la variabilité climatique « naturelle » selon la deuxième génération du modèle couplé de circulation générale (MCCG2) du Centre canadien de modélisation et d'analyse du climat. Ces données proviennent d'une longue passe de vérification effectuée avec ce MCG, sans changement du forçage avec le temps.

Lorsqu'il y a une superposition entre les symboles de couleur et les carrés gris, les scénarios se trouvent dans la fourchette de la variabilité climatique « naturelle », tandis que, s'il n'y a pas de chevauchement, les scénarios sont à l'extérieur de la plage, et ils représentent peut-être des conditions qui ne se sont encore jamais présentées.

Les lignes bleues sur le graphique indiquent les changements médians des températures et des précipitations moyennes, issus de la série de scénarios représentés dans le diagramme de dispersion. De fait, ces lignes divisent le graphique en quatre quadrants, ce qui permet d'identifier les scénarios qui illustrent des conditions plus froides, plus chaudes, plus sèches ou plus humides que celles de la plupart des scénarios. Cela permet également de repérer ceux qui présentent les changements les plus « extrêmes ».

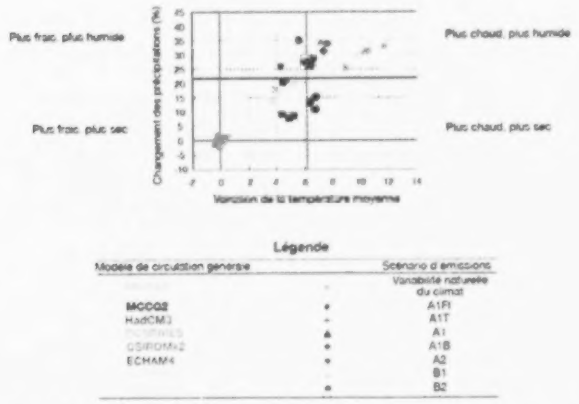


FIGURE A-1 : Exemple d'un diagramme de dispersion et de la légende des diagrammes présentés dans ce rapport. Les couleurs représentent le modèle de circulation générale et les symboles, les scénarios d'émissions.

Cartes des scénarios (figure A-2)

Les cartes des scénarios présentent un résumé de tous les scénarios de changement climatique obtenus grâce aux MCG et illustrés par les diagrammes de dispersion. Tous les scénarios ont été interpolés dans la grille du MCCG2, avant que les changements minimums, moyens et maximums soient calculés et inscrits. De ce fait, les valeurs dans chaque maille ne proviennent pas nécessairement du même scénario.

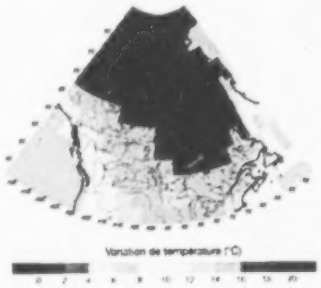


FIGURE A-2 : Exemple d'une carte pour un scénario d'ensemble. Il s'agit des changements projetés de la température annuelle maximum au Canada d'ici les années 2080.

Tracés en rectangle et moustaches (figure A-3)

Le tracé en rectangle et moustaches est une façon de présenter les renseignements récapitulatifs d'un échantillon de données. Des lignes sont situées au quartile inférieur, à la médiane et au quartile supérieur du rectangle, et les moustaches sont les lignes qui s'étendent à chaque extrémité du rectangle pour illustrer l'étendue du reste des données. Le rectangle représente les données centrales correspondant à 50 p. 100 de l'échantillon. Les moustaches indiquent les valeurs maximum et minimum des données s'il y a un point sur la moustache inférieure. Lorsqu'il y a des valeurs aberrantes, indiquées par le symbole « + », la longueur de la moustache est 1,5 fois celle de l'écart interquartile. Le tracé en rectangle et moustaches à la figure A-3 montre que, pour les années 2050 et 2080, les moustaches représentent les valeurs maximum et minimum des données. Pour les années 2020, il y a une valeur aberrante à la limite supérieure des valeurs des données, signalée par le symbole « + ». La longueur de la moustache est donc, dans ce cas, 1,5 fois celle de l'écart interquartile.

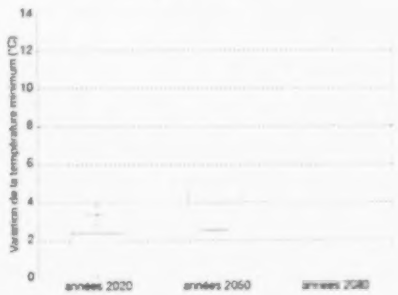


FIGURE A-3 : Exemple d'un tracé en rectangle et moustaches.

CHAPITRE 3
Nord du Canada

Auteurs principaux :
Chris Furgal[1] et Terry D. Prowse[2]

Collaborateurs :
Barry Bonsal (*Environment Canada*), Rebecca Chouinard (*Affaires indiennes et du Nord Canada*), Cindy Dickson (*Council of Yukon First Nations*), Tom Edwards (*University of Waterloo*), Laura Eerkes-Medrano (*University of Victoria*), Francis Jackson (*Affaires indiennes et du Nord Canada*), Humfrey Melling (*Pêches et Océans Canada*), Dave Milburn (*expert-conseil*), Scot Nickels (*Inuit Tapiriit Kanatami*), Mark Nuttall (*University of Alberta*), Aynslie Ogden (*Yukon Department of Energy, Mines and Resources*), Daniel Peters (*Environnement Canada*), James D. Reist (*Pêches et Océans Canada*), Sharon Smith (*Ressources naturelles Canada*), Michael Westlake (*Northern Climate* ExChange), Fred Wrona (*Environnement Canada et University of Victoria*)

Notation bibliographique recommandée :

Furgal, C. et T.D. Prowse. « Nord du Canada », dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éditeurs), Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, pp. 57-118.

---

[1] Department of Indigenous Studies et Department of Environment and Resource Studies, Trent University, Peterborough (Ontario).
[2] Environnement Canada et University of British Columbia, Victoria (Colombie-Britannique).

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 61

2 APERÇU DE LA RÉGION 62
- 2.1 Géographie physique 62
- 2.2 Situation et tendances socio-économiques, sanitaires et démographiques 64
- 2.3 Conditions climatiques passées et futures 67
  - 2.3.1 Conditions climatiques passées 67
  - 2.3.2 Conditions climatiques à venir 68

3 RÉPERCUSSIONS DE L'ÉVOLUTION DU CLIMAT SUR L'ENVIRONNEMENT ARCTIQUE 74
- 3.1 Glace de mer 74
- 3.2 Couverture nivale 74
- 3.3 Glaciers et inlandsis 75
- 3.4 Pergélisol 75
- 3.5 Glace de lacs et de cours d'eau 77
- 3.6 Apport d'eau douce 77
- 3.7 Élévation du niveau de la mer et stabilité du littoral 77
- 3.8 Zones de végétation terrestre et biodiversité 78
- 3.9 Écosystèmes dulcicoles 78

4 RÉPERCUSSIONS SUR LE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE ET SUR L'ADAPTATION DE SECTEURS CLÉS 79
- 4.1 Aménagements hydroélectriques 79
- 4.2 Pétrole et gaz naturel 79
- 4.3 Mines 80
- 4.4 Infrastructures 80
- 4.5 Transports 82
  - 4.5.1 Trafic maritime 82
  - 4.5.2 Transport en eau douce 85
  - 4.5.3 Routes d'hiver 86
- 4.6 Foresterie 87
- 4.7 Pêches 93
- 4.8 Espèces sauvages, biodiversité et zones protégées 96
- 4.9 Tourisme 99

5 COLLECTIVITÉS, SANTÉ ET BIEN-ÊTRE 99
- 5.1 Effets directs sur la santé et le bien-être 100
- 5.2 Effets indirects sur la santé et le bien-être 101
- 5.3 Capacité d'adaptation 105

6 CONCLUSIONS 110

7 REMERCIEMENTS 111

RÉFÉRENCES 112

PRINCIPALES CONCLUSIONS

Le climat de l'Arctique évolue à un rythme sans précédent depuis 50 ans. Au cours du dernier demi-siècle, l'Arctique canadien a été, comme d'autres régions circumpolaires, le théâtre d'importantes hausses de la température et des précipitations. Dans la dernière décennie, des hausses dans la température de l'air ont fait que le Nord canadien a vécu, dans l'ensemble, un grand nombre des années les plus chaudes de son histoire, et c'est dans l'Arctique de l'Ouest qu'on a constaté les plus fortes hausses de température. Tous les modèles de circulation générale permettent de prédire que les températures et les précipitations continueront de monter dans tout l'Arctique canadien et que c'est aux latitudes les plus élevées que se produiront les changements de température les plus importants. On continuera donc d'observer des modifications importantes de l'environnement physique, surtout dans la cryosphère (neige, glaciers, pergélisol et glace de rivière, de lac et de mer).

De plus en plus d'indices permettent de conclure que le changement climatique a déjà des incidences sur les systèmes écologiques, économiques et humains des régions nordiques et que des citoyens, des collectivités et des organismes ont mis en œuvre des mesures pour tenter d'en réduire les impacts nuisibles. À cause des niveaux actuels de sensibilité et d'exposition aux transformations liées au climat et des limites de la capacité d'adaptation, certains systèmes et populations nordiques sont plus vulnérables aux effets du changement climatique. Les principales conclusions sont les suivantes :

- **Les changements d'origine climatique dans la cryosphère (pergélisol, glace de mer, glace de lac et neige) ont des incidences importantes sur la conception et l'entretien des infrastructures.** Une grande partie des infrastructures du Nord dépend de la cryosphère, qui fournit, par exemple, des surfaces stables aux édifices et aux pipelines, confine les déchets, stabilise les rivages et permet l'accès aux collectivités éloignées en hiver. Le réchauffement et le dégel du pergélisol nécessiteront peut-être de prendre des mesures correctives ou d'apporter des modifications aux infrastructures existantes. Les lacs et les bassins de rétention, qui dépendent de l'étanchéité du pergélisol pour retenir les matières dangereuses pour l'environnement, sont cause de préoccupations toutes particulières. La conception des principaux projets du Nord, qu'il s'agisse de structures de rétention des résidus, de pipelines, de routes ou de grands bâtiments, tient déjà compte du changement climatique. À plus long terme, les transports de mer et d'eau douce pourront se fier de moins en moins aux routes de glace et devront adopter des systèmes de transport terrestres ou en eau libre. Les régions et les collectivités côtières deviendront davantage vulnérables à l'érosion en raison de la disparition de la glace de mer, conjuguée à une augmentation des conditions de tempêtes et à l'élévation du niveau des mers. Il faudra également modifier les infrastructures et les stratégies d'utilisation des centrales électriques à cause de l'évolution du régime de débit des rivières.

- **Au rythme du climat en évolution, la biodiversité et les aires de répartition de plusieurs espèces seront touchées par des changements, entraînant des répercussions sur la disponibilité, l'accessibilité et la qualité des ressources dont dépendent les populations humaines.** Cette situation aura des effets sur la protection et la gestion des espèces sauvages, des pêches et des forêts. On observe déjà une migration des espèces vers le nord et une concurrence accrue des espèces envahissantes. Ces phénomènes continueront de transformer les communautés terrestres et aquatiques. La modification des conditions environnementales entraînera probablement l'apparition de nouvelles zoonoses et la redistribution de certaines maladies existantes, ce qui aura un effet sur des ressources économiques essentielles et sur certaines populations humaines. À cause de changements survenant dans l'habitat essentiel que représente la glace de mer, on continuera probablement d'observer une perturbation de populations fauniques, telles que l'ours blanc, à la limite sud de leur aire de répartition. Quand ces perturbations toucheront des espèces d'importance économique ou culturelle, elles auront un impact significatif sur les habitants et les économies de la région. La gestion des ressources naturelles devra assurer une adaptation proactive généralisée à ces changements.

- **La plus grande facilité de navigation dans les eaux de l'Arctique et l'expansion des réseaux de transport terrestre ou en eau douce rendront le Nord canadien moins « lointain », ce qui favorisera la croissance de plusieurs secteurs économiques, mais entraînera aussi de nombreux défis en matière de culture, de sécurité et d'environnement.** Le retrait de la glace de mer, particulièrement dans la baie d'Hudson et la mer de Beaufort, et l'allongement de la saison estivale de navigation causé par le réchauffement élargiront les perspectives de trafic maritime et de passage par les eaux de l'Arctique canadien. Des mesures d'adaptation telles que l'augmentation des activités de surveillance et de maintien de l'ordre seront probablement nécessaires. La perte de glaces de mer et d'eau douce risque d'entraîner aussi le développement de ports maritimes et de réseaux routiers utilisables en toutes saisons et permettant d'atteindre l'intérieur du continent et des îles arctiques, surtout afin d'accéder à des ressources naturelles dont l'exploitation n'était pas rentable jusqu'à maintenant. Les collectivités nordiques pourraient ressentir fortement les incidences socio-économiques et culturelles de la croissance des activités économiques, dont celles associées à l'accroissement de la circulation maritime et à l'accès amélioré découlant de l'ouverture du passage du Nord-Ouest.

- **Bien qu'il soit plus difficile, dans un climat en évolution, de maintenir et de protéger les aspects traditionnels de la vie et de l'économie de subsistance dans nombre des collectivités autochtones de l'Arctique, cette situation est également susceptible d'ouvrir de nouvelles perspectives.** Les résidents autochtones, jeunes et vieux, et surtout ceux, dans les collectivités les plus éloignées, qui conservent un mode de vie traditionnel reposant sur une économie de subsistance, sont les plus vulnérables aux effets du changement climatique dans le Nord. L'érosion de leur capacité d'adaptation causée par les transformations sociales, culturelles, politiques et économiques déjà constatées dans bien des collectivités rendra plus difficile leur adaptation aux nouvelles conditions du milieu. Il se peut cependant que l'amélioration des perspectives économiques soit bénéfique à ces populations. Il est donc difficile de prévoir quels seront, au bout du compte, les effets de ces changements sur la vulnérabilité des personnes et des institutions.

1 INTRODUCTION

Des indices fournis par de nombreux chercheurs et résidents du Nord canadien démontrent que le climat de cette région connaît déjà des changement (p. ex., Ouranos, 2004; Huntington *et al.*, 2005; McBean *et al.*, 2005; Overpeck *et al.*, 2005; Bonsal et Prowse, 2006). Au cours des 50 dernières années, l'ouest et le centre de l'Arctique canadien se sont réchauffés d'environ 2 °C à 3 °C (Zhang *et al.*, 2000), alors que l'est de l'Arctique canadien s'est refroidi d'environ 1 °C à 1,5 °C (Zhang *et al.*, 2000), bien qu'on signale un réchauffement pour les 15 dernières années. Les témoignages de chasseurs et d'aînés autochtones de la région indiquent que cette dernière subit, depuis quelques décennies, un réchauffement significatif, ce qui confirme les constatations des chercheurs (p. ex., Huntington *et al.*, 2005; Nickels et al., 2006).

Ces changements d'ordre climatique ont entraîné une réduction importante de la superficie et de l'épaisseur des glaces dans certaines régions de l'Arctique, le dégel et la déstabilisation du pergélisol, une augmentation de l'érosion des côtes et des modifications de la répartition et du comportement migratoire de la faune arctique (Arctic Climate Impact Assessment, 2004, 2005). Les projections des modèles climatiques semblent indiquer que cette évolution récente est appelée à se poursuivre (Kattsov *et al.*, 2005; Bonsal et Prowse, 2006), ce qui aura une multitude d'effets sur les populations humaines et animales, et sur le développement futur de la région (Arctic Climate Impact Assessment, 2004, 2005; Ford *et al.*, 2006b; Furgal et Seguin, 2006).

FIGURE 1 : Limites territoriales et collectivités du Nord canadien, superposées à une carte des zones de pergélisol (*tiré de* Heginbottom *et al.*, 1995; Furgal *et al.*, 2003).

Un certain nombre d'évaluations scientifiques récentes ont examiné les transformations du climat et des conditions socio-économiques, environnementales et politiques, et leurs incidences sur les régions arctiques (p. ex., Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a, b, 2007a, b; Arctic Monitoring and Assessment Program, 2002; Arctic Climate Impact Assessment, 2004, 2005; Einarsson *et al.*, 2004; Chapin *et al.*, 2005). Ces travaux fournissent une base solide pour évaluer les effets du changement climatique sur les services que fournit le milieu arctique aux populations et aux économies locales, régionales et nationale et la vulnérabilité des systèmes humains au changement. Le présent chapitre est basé sur ces travaux et adopte certains aspects d'une approche de l'évaluation du climat fondée sur la vulnérabilité, en ayant surtout recours à un examen de l'exposition et de la capacité d'adaptation actuelle et future (*voir* le chapitre 2). Il rend ainsi possible une meilleure compréhension des effets du climat et des processus d'adaptation dans les régions nordiques du pays.

Dans le présent chapitre, l'expression « Nord du Canada » désigne les trois territoires canadiens (Yukon, Territoires du Nord-Ouest et Nunavut) situés au nord du 60e parallèle. Bien que ces territoires aient en commun de nombreuses caractéristiques biogéographiques, chacun possède des caractéristiques environnementales, socio-économiques, culturelles et politiques qui lui sont propres. Ensemble, ils forment un vaste territoire qui couvre près de 60 p. 100 de la masse terrestre canadienne, comprend de nombreuses zones écologiques et regroupe près de 100 collectivités de langues et de cultures différentes (*voir* la figure 1). Les sections 1 et 2 du présent chapitre présentent un aperçu du changement climatique dans l'Arctique canadien, examinent les conditions passées et actuelles, et font état des projections climatiques pour le Nord. La section 3 concerne les impacts prévus de ce changement sur les éléments les plus importants du milieu naturel de l'Arctique, dont un grand nombre sont essentiels à la vie des collectivités nordiques. La section 4 traite des effets du changement climatique sur les services régionaux et nationaux, et se concentre sur l'identification des éléments vulnérables des différents secteurs et systèmes. La section 5 fait état des répercussions sur les collectivités nordiques, petites et grandes, et présente des témoignages de populations à risque, comme les groupes autochtones de l'Arctique. Finalement, la section 6 présente les principales conclusions.

Dans le présent chapitre, on évalue les impacts actuels et possibles du changement climatique dans le Nord du Canada à l'aide d'un certain nombre de sources et de méthodes (*voir* également le chapitre 2). Pour les sujets abordés dans les trois premières sections, on s'appuie surtout sur l'examen et l'évaluation de la documentation scientifique publiée. Dans certains cas, les auteurs ont eu recours à des rapports gouvernementaux et à d'autres sources de documentation dite « grise ». Pour plusieurs des sujets abordés dans les sections 4 et 5, les recherches scientifiques dans l'Arctique sont soit en cours de réalisation, soit à leurs débuts. Ces sections reposent donc plus fortement sur la documentation dite « grise », sur des observations locales, sur le savoir traditionnel et sur l'expertise des membres de l'équipe d'évaluation.

2 APERÇU DE LA RÉGION

2.1 GÉOGRAPHIE PHYSIQUE

Physiographie

Le Nord du Canada comprend cinq grandes régions physiographiques : le Bouclier canadien, les plaines intérieures, les basses-terres de l'Arctique, la Cordillère et la région Innuitienne (*voir* la figure 2; Fulton, 1989). Le Bouclier canadien domine l'est et le centre de la partie continentale de l'Arctique et la partie est de l'archipel Arctique. Cette région vallonnée abrite un réseau étendu de lacs et de rivières, et une forte proportion de socle exposé. La région montagneuse de l'île de Baffin est, pour sa part, caractérisée par la présence de glaciers et de champs de glace. Les plaines intérieures, qui se trouvent à l'ouest du Bouclier canadien, consistent en une série de plateaux peu élevés et de vastes terres humides. Les basses-terres de l'Arctique, qui forment une partie de l'archipel Arctique, sont situées entre le Bouclier canadien et la région Innuitienne. Leur partie ouest est formée de terres basses recouvertes de moraines glaciaires et leur partie est, de hautes terres caractérisées par des plateaux et des collines rocheuses. La Cordillère, une région au terrain complexe, est située immédiatement à l'ouest des plaines intérieures. Elle est formée de montagnes abruptes séparées par d'étroites vallées, des plateaux et des plaines. Les monts Saint-Élie, sur la côte du Pacifique du Yukon, abritent de vastes champs de glace et quelques-uns des sommets les plus élevés d'Amérique du Nord (Prowse, 1990; French et Slaymaker, 1993). La région Innuitienne comprend les îles de la Reine-Élisabeth, qui sont la région la plus septentrionale et la plus isolée du pays.

Les caractéristiques physiographiques et les différences de climat, de végétation et de constitution de la faune entre les régions permettent de diviser le Nord en huit écorégions (Furgal *et al.*, 2003). Celles-ci sont indiquées et décrites à la figure 2.

Climat

Le Nord du Canada est marqué par des hivers longs et froids, et par des étés courts et frais. Les précipitations y sont peu abondantes et se manifestent pendant les mois les plus chauds. Les températures annuelles moyennes (de 1971 à 2000) ont varié entre environ −1 °C et −5 °C dans les régions les plus méridionales de l'Arctique canadien, et ont atteint presque −18 °C dans les îles de l'Extrême-Arctique. Les températures hivernales moyennes ont été d'environ −37 °C au nord et de −18 °C au sud, et les températures estivales

Écozone	Topographie	Climat	Végétation	Espèces sauvages
Cordillère arctique	D'immenses champs de glace et glaciers couronnent des montagnes escarpées	Très froid et aride	Très rare en raison des glaces et des neiges éternelles	Ours blanc, morse, phoques, narval, baleines
Haut-Arctique	À l'ouest, plaines de basses terres couvertes de moraines; à l'est, le terrain s'élève en plateaux et collines rocheuses	Très sec et très froid	Principalement des herbes et des lichens	Caribou, bœuf musqué, loup, lièvre arctique, lemming
Bas-Arctique	Plaines ondulées de basses terres et de hautes terres	Hivers longs et froids, étés courts et frais	Arbustes nains de plus en plus petits en allant vers le Nord	Original, bœuf musqué, loup, renard arctique, grizzli, ours blanc, caribou
Taïga des plaines	Vastes terres basses et plateaux entaillés par d'importants cours d'eau	Semi-aride et froid	Bouleau glanduleux, thé du Labrador, saules, mousses	Original, caribou des bois, loup, ours noir, martre
Taïga du Bouclier	Relief vallonné parsemé de terres hautes, de terres humides et d'innombrables lacs	Climat continental subarctique, précipitations faibles	Forêts claires et toundra arctique	Caribou, original, loup, lièvre d'Amérique, ours noir, grizzli
[illegible]	Relief montagneux prononcé formé de crêtes vives et de vallées étroites	Hivers secs et froids, étés courts et frais	Arbustes, mousses, lichens, bouleau glanduleux, saules	Mouflon de Dall, caribou, lynx, carcajou
Plaines boréales	Plaines plates ou légèrement ondulées	Climat humide aux hivers froids et aux étés modérément chauds	Épinette, mélèze laricin, pin gris, bouleau blanc, sapin baumier, peuplier	Caribou des bois, cerf-mulet, coyote, lynx, tétras de Terre-Neuve
Cordillère boréale	Chaînes de montagnes aux pics élevés et aux vastes plateaux	Hivers longs, secs et froids, étés courts et chauds	Épinette, sapin subalpin, peuplier faux-tremble, bouleau blanc	Caribou des bois, mouflon de Dall, chèvre de montagne, martre, lagopède

FIGURE 2 : Régions physiographiques (*tiré de* Fulton, 1989) et écorégions du Nord canadien (Furgal *et al.*, 2003).

moyennes ont fluctué entre +6 °C et +16 °C (Environnement Canada, 2006). On constate une grande variabilité entre les saisons, les années et les décennies (Bonsal *et al.*, 2001a).

Le nord du Canada reçoit relativement peu de précipitations, surtout aux latitudes les plus élevées. Les précipitations annuelles varient d'habitude entre 100 mm et 200 mm dans les îles de l'Extrême-Arctique, et atteignent près de 450 mm dans le sud des Territoires du Nord-Ouest. On constate des précipitations plus abondantes sur la côte est de l'île de Baffin (600 mm/an) et au Yukon, où les quantités annuelles atteignent de 400 à 500 mm dans le sud-est et plus de 1 000 mm dans l'extrême sud-ouest (Phillips, 1990).

L'évaporation annuelle moyenne varie entre 250 mm et 400 mm environ à 60° Nord à moins de 100 mm dans la partie centrale de l'archipel Arctique (den Hartog et Ferguson, 1978). C'est en été que l'évaporation est la plus forte, surtout dans les zones de basses terres caractérisées par la présence de nombreux lacs et marais. Sur certains plans d'eau vastes et profonds, comme le Grand lac des Esclaves, la chaleur emmagasinée pendant les mois d'été continue de produire une évaporation considérable pendant l'automne (Oswald et Rouse, 2004). La transpiration diminue au nord des terres humides et des zones boisées parce que la végétation y est moins dense et qu'il y a plus de mousses et de lichens. Toutefois, l'importance relative de l'évapotranspiration dans le bilan hydrique général tend à augmenter lorsqu'on se déplace vers le nord, puisqu'on y constate une décroissance plus rapide des précipitations. La sublimation de la neige et de la glace est aussi à la source d'une perte d'humidité vers l'atmosphère (Pomeroy *et al.*, 1998).

Pergélisol

On appelle « pergélisol » tous les matériaux du sol qui restent à une température inférieure à 0 °C pendant deux étés consécutifs. Le pergélisol couvre environ la moitié de la masse terrestre canadienne (*voir* la figure 1). Dans les régions les plus septentrionales, le pergélisol est permanent et son épaisseur peut atteindre plusieurs centaines de mètres (Heginbottom *et al.*, 1995; Smith *et al.*, 2001a). Au sud, sa répartition devient discontinue et irrégulière, et son épaisseur, à la limite méridionale de son aire de répartition, n'est plus que de quelques mètres. On trouve aussi du pergélisol sous-marin au large de certaines parties de l'Arctique canadien.

La présence du pergélisol et de la glace dans le sol qui l'accompagne exerce une forte influence sur les propriétés et le comportement des matériaux du sol, sur les processus du paysage et sur l'hydrologie de surface et de subsurface, en plus de régir en grande partie l'aménagement des terres et le développement foncier. Comme le pergélisol réduit l'infiltration de l'eau, il a causé la formation de vastes terres humides et de tourbières dans les basses-terres (p. ex., Brown *et al.*, 2004; Mackenzie River Basin Board, 2004). La fonte différentielle du pergélisol riche en glace entraîne une topographie bosselée ou thermo karstique. Dans les régions de pergélisol, le comportement du ruissellement dépend de la profondeur du mollisol (couche active), dont la durée d'existence n'est parfois que de deux mois.

Eau

Le territoire situé au nord du 60e parallèle contient 18 p. 100 de l'eau douce du Canada. On la retrouve surtout dans des lacs (le Grand lac de l'Ours et le Grand lac des Esclaves, par exemple) du bouclier continental des Territoires du Nord-Ouest et du Nunavut (Prowse, 1990). Ce pourcentage ne tient pas compte des vastes étendues de glace (glaciers) qui couvrent plus de 150 000 km² des îles de l'Extrême-Arctique et 15 000 km² des terres continentales. L'Arctique compte aussi 20 p. 100 des terres humides du Canada (Hebert, 2002). Dans le Nord, le ruissellement dépend pour beaucoup de la fonte de la neige et de l'ablation des glaciers (Woo, 1993).

De façon saisonnière, la glace d'eau douce recouvre tous les lacs et cours d'eau du Nord du Canada; sur les lacs situés aux latitudes les plus élevées, son épaisseur moyenne dépasse 2 m. Les rivières gardent leur couverture de glace moins longtemps que les lacs parce qu'elles sont les dernières à geler à la fin de l'année et les premières à

voir la glace se briser au printemps. Dans l'Extrême-Arctique, il arrive que des lacs ne se débarrassent pas complètement de leur glace et que la glace pluriannuelle se forme à certains endroits à cause de la brièveté de la saison de la fonte. On trouve également des dépôts de glace pluriannuelle dans l'Extrême-Arctique, là où l'écoulement de l'eau souterraine a contribué à la formation d'une couche de glace extrêmement épaisse.

Les cours d'eau du Nord sont une source importante d'eau douce pour l'océan Arctique; ils contribuent ainsi à la circulation thermohaline des océans, un élément régulateur du climat mondial (Carmack, 2000). Le système hydrologique dominant du Nord canadien est celui du Mackenzie, qui est le plus grand bassin fluvial du Canada (1 805 200 km^2). Le fleuve Yukon draine à peu près les trois quarts du Yukon en s'écoulant vers l'Alaska, en direction nord-ouest (Prowse, 1990).

Milieu marin

Les mers septentrionales canadiennes sont l'océan Arctique, la mer de Beaufort, la baie d'Hudson, le bassin Foxe, la baie de Baffin et les différents chenaux et détroits qui séparent les îles de l'archipel Arctique. La caractéristique la plus frappante de ces eaux est leur couverture saisonnière ou pluriannuelle d'une glace qui atteint souvent une épaisseur de plusieurs mètres. Le centre de l'océan Arctique est couvert d'une banquise permanente. Des zones d'eau libre se forment à la fin de l'été sur la côte ouest de l'île Banks et dans la mer de Beaufort. Plus au sud, la baie d'Hudson gèle avant la fin de décembre et commence à se dégager en juillet. En général, la répartition et l'épaisseur de la glace varient fortement. Les polynies (eaux libres en hiver) de la mer de Beaufort, de l'archipel Arctique et du nord de la baie de Baffin ont une grande importance écologique (Barry, 1993).

L'océan Arctique est relié à l'océan Atlantique par la mer du Groenland et la mer de Norvège, ainsi que par de nombreux chenaux passant à travers l'archipel Arctique vers l'île de Baffin et la mer du Labrador. Le tourbillon de Beaufort, qui entraîne la circulation et le mouvement de sens horaire des glaces du bassin Canada de l'océan Arctique, exerce une influence dominante sur la circulation de ce dernier ainsi que sur la couverture de glace. La glace de mer, à l'exception de la glace de rive le long des côtes, est constamment en mouvement. Le mouvement des eaux marines et la présence de vastes couvertures de glace ont une grande influence sur le climat de la masse terrestre septentrionale du Canada (Serreze et Barry, 2005).

2.2 SITUATION ET TENDANCES SOCIO-ÉCONOMIQUES, SANITAIRES ET DÉMOGRAPHIQUES

Population

Un peu plus de 100 000 personnes vivent dans le Nord du Canada, et près des deux tiers des collectivités nordiques sont situées le long des côtes. La majorité des collectivités de l'Arctique (à l'intérieur des terres et sur les côtes) comptent moins de 500 résidents, et ces petites collectivités ne représentent ensemble que 11 p. 100 de la population nordique totale (Bogoyavlenskiy et Siggner, 2004). Seules Whitehorse, Yellowknife et Iqaluit, les trois capitales territoriales, ont plus de 5 000 habitants. Alors que Whitehorse (23 511 habitants en 2005) compte environ 73 p. 100 de la population totale du Yukon, plus des deux tiers des résidents du Nunavut vivent dans des collectivités de moins de 1 000 personnes.

La région a subi d'importantes transformations démographiques, sociales, économiques et politiques au cours des dernières décennies et sa croissance a surtout été associée à l'augmentation de la population non autochtone provenant de l'exploitation des ressources et à la croissance de l'administration publique (Bogoyavlenskiy et Siggner, 2004; Chapin *et al.*, 2005). Depuis la fondation des collectivités dans la région, la croissance s'est surtout concentrée dans les trois principaux centres urbains (Einarsson *et al.*, 2004). On prévoit que, d'ici 25 ans, elle se fera surtout dans les Territoires du Nord-Ouest (*voir* le tableau 1), entre autres à cause du développement industriel associé au pipeline de la vallée du Mackenzie et aux nouvelles exploitations minières.

L'âge moyen des résidents du Nord est moins élevé que celui de l'ensemble de la population canadienne (*voir* le tableau 2). Plus de 50 p. 100 des résidents du Nunavut ont moins de 15 ans. D'après les projections sur 25 ans, la population du Nord du Canada restera jeune, mais la proportion des personnes de plus de 65 ans augmentera, ce qui contribuera à une augmentation du rapport de dépendance dans tous les territoires (*voir* le tableau 2).

TABLEAU 1 : Population (en milliers) constatée (2005) et projetée (2031) dans les territoires nordiques du Canada selon un scénario de croissance modérée de la population (Statistique Canada, 2005b).

	Population en 2005 (en milliers)	Population projetée en 2031 (en milliers)	Taux de croissance annuelle moyen (taux par millier)
Canada	32 270,5	39 024,4	7,3
Nunavut	**30,0**	**33,3**	**4,0**
Territoires du Nord-Ouest	43,0	54,4	9,1
Yukon	**31,0**	**34,0**	**3,6**

[1] Le scénario de croissance de la population prévoit une croissance moyenne, un taux de migration moyen et un niveau moyen de fertilité, d'espérance de vie, d'immigration et de migration interprovinciale, tel que décrit dans *Projections démographiques pour le Canada, les provinces et les territoires, 2005-2031*, no au catalogue 91-520-XIF, Statistique Canada, 2006, interprovinciale (*voir* Statistique Canada, 2005b). *Source* : Statistique Canada (2006). Projections démographiques pour le Canada, les provinces et les territoires, 2005-2031, no au catalogue 91-520-XIF.

TABLEAU 2 : Âge médian et rapports de dépendance de la population constatés (2005) et projetés (2031) dans les territoires nordiques du Canada selon un scénario de croissance modérée de la population (Statistique Canada, 2005b)[1].

Indicateur	Canada constaté (projeté)	Yukon constaté (projeté)	Territoires du Nord-Ouest constaté (projeté)	Nunavut constaté (projeté)
Âge médian	38,8 (44,3)	37,6 (40,7)	30,8 (35,7)	23,0 (24,5)
Pourcentage des 0 à 14 ans	24,9 (23,5)	23,9 (25,0)	33,7 (31,3)	54,3 (50,9)
Pourcentage des 65 ans et plus	19,0 (37,7)	9,8 (30,8)	6,9 (23,5)	4,4 (9,1)
Total des rapports de dépendance	43,9 (61,3)	33,6 (55,8)	40,6 (54,8)	58,7 (60,0)

[1] *Le scénario de croissance de la population prévoit une croissance moyenne, un taux de migration moyen et un niveau moyen de fertilité, d'espérance de vie, d'immigration et de migration* interprovinciale (*voir* Statistique Canada, 2005b).

Les Autochtones, qui représentent un peu plus de la moitié des résidents du Nord, appartiennent à plusieurs groupes culturels et linguistiques, allant des 14 Premières nations du Yukon, à l'ouest, aux Inuits du Nunavut, à l'est. Nombre de ces groupes sont présents dans la région depuis des milliers d'années. Les résidents non autochtones représentent 15 p. 100 de la population du Nunavut et 78 p. 100 de celle du Yukon (*voir* le tableau 3; Statistique Canada, 2001). Les Autochtones sont majoritaires dans la plupart des petites collectivités, qui sont des lieux où les modes de vie traditionnels demeurent des traits marquants de la vie quotidienne.

État de santé

Divers indicateurs montrent que les Canadiens du Nord sont en moins bonne santé que la moyenne des citoyens du pays (*voir* le tableau 4; Statistique Canada, 2001). Tous les territoires ont une espérance de vie inférieure et un taux de mortalité infantile plus élevé que les moyennes nationales; ces écarts sont particulièrement prononcés au Nunavut (*voir* le tableau 4). Selon de nombreux indicateurs, la santé des Autochtones du Nord est considérablement moins bonne que celle des non-Autochtones de la région et que de la moyenne des Canadiens. Les taux de mortalité par suicide, par cancer du poumon, par noyade et par blessures accidentelles du cours d'accidents de la route sont plus élevés dans le Nord que dans le reste du pays (*voir* le tableau 5; Statistique Canada, 2001). Le nombre élevé de morts accidentelles et de blessures est probablement associé, en partie, au fait que les résidents du Nord sont plus exposés en raison des longues périodes de temps qu'ils passent à l'extérieur et du fait qu'ils dépendent fortement des différents moyens de transport pour leurs activités de chasse, de pêche et de cueillette, qui assurent une partie importante de leur subsistance et de leur revenu.

TABLEAU 3 : Caractéristiques de la population des territoires nordiques du Canada (Statistique Canada, 2001).

Indicateur	Canada	Yukon	Territoires du Nord-Ouest	Nunavut
Densité de la population (par km^2)	3,33	0,06	0,03	0,01
Pourcentage de la population urbaine	79,6	58,7	58,3	32,4
Pourcentage de la population autochtone	3,4	22,9	50,5	85,2

[1] Sont incluses dans les régions urbaines les zones bâties continues ayant une concentration de population de 1 000 personnes ou plus et une densité de population de 400 personnes ou plus au kilomètre carré, selon le dernier recensement; les régions rurales ont une concentration ou une densité inférieure à ces seuils.

[2] Sont incluses dans la population autochtone les personnes ayant déclaré appartenir à au moins un groupe autochtone (p. ex. Indien de l'Amérique du Nord, Métis ou Inuit) et/ou déclaré être un Indien visé par un traité ou un Indien inscrit aux termes de la Loi sur les Indiens et/ou déclaré être membre d'une bande indienne ou d'une Première nation.

Statut socio-économique

Les économies de nombreuses collectivités nordiques sont un mélange d'activités traditionnelles liées aux ressources renouvelables terrestres ou d'activités de subsistance et d'activités formelles génératrices de revenus. On estime que l'économie du Nunavut représente entre 40 et 60 millions de dollars par année, dont 30 millions pour des activités économiques liées à l'alimentation (Conference Board du Canada, 2005). Il est toutefois difficile d'évaluer la valeur réelle de ces activités, puisqu'elles contribuent de manière significative au tissu social des collectivités et assurent plus que des avantages monétaires. L'économie traditionnelle est également importante dans d'autres régions du Nord (Duhaime *et al.*, 2004). Par exemple, plus de 70 p. 100 des adultes autochtones du Nord déclarent avoir récolté des ressources naturelles par la chasse et la pêche, et plus de 96 p. 100 de ces personnes déclarent l'avoir fait pour assurer leur subsistance (Statistique Canada, 2001).

Les activités génératrices de revenus sont souvent liées à l'extraction de ressources non renouvelables ou à l'administration publique, qui est la principale activité économique de nombreuses régions (22 p. 100 du produit intérieur brut du Yukon, par exemple). L'extraction à grande échelle de minerais et d'hydrocarbures constitue un élément important de l'économie de certaines régions (Duhaime *et al.*, 2004). Bien qu'une fraction seulement de ces revenus restent dans la région où se font les activités d'extraction, ces dernières ont néanmoins des retombées importantes en termes de salaires et contribuent à une augmentation significative du revenu moyen. Il existe donc des disparités sociales et économiques importantes entre les régions du Nord et à l'intérieur de chacune d'elles (*voir* le tableau 6).

TABLEAU 4 : Indicateurs de la santé au Canada et dans les territoires nordiques du Canada (Statistique Canada, 2002).

Indicateur	Canada	Yukon	Territoires du Nord-Ouest	Nunavut
Dépenses publiques en santé par habitant ($)	2535	4063	5862	7049
Espérance de vie à la naissance (hommes, 2002)	75,4	73,9	73,2	67,2
Espérance de vie à la naissance (femmes, 2002)	81,2	80,3	79,6	69,6
Espérance de vie à 65 ans (hommes, 2002)	17,1	15,6	14,5	16,3
Espérance de vie à 65 ans (femmes, 2002)	20,6	19,5	19,2	11,4
Taux de mortalité infantile (pour 1 000 naissances vivantes, 2 500 grammes ou plus, 2001)	4,4	8,7	4,9	15,6
Taux de faible poids à la naissance (p. 100 des nouveau-nés de moins de 2 500 grammes)	5,5	4,7	4,7	7,6
Années potentielles de vie perdues par suite de blessures accidentelles (pour 100 000 personnes)	628	1066	1878	2128
État de santé autodéclaré (p. 100 des personnes de 12 ans ou plus qui se déclarent en très bonne santé ou en excellente santé)[1]	59,6	54	54	51
Activité physique (p. 100 des personnes de 12 ans ou plus qui déclarent être actives ou modérément actives physiquement)[1]	42,6	57,9	38,4	42,9

[1] Personnes de 12 ans ou plus qui déclarent un niveau d'activité physique, d'après leurs réponses à des questions sur la fréquence, la durée et l'intensité de leurs activités physiques durant leurs loisirs.

TABLEAU 5 : Indicateurs de mortalité (pour 100 000 habitants) au Canada et dans les territoires nordiques du Canada (Statistique Canada, 2006).

Indicateur	Canada	Yukon	Territoires du Nord-Ouest	Nunavut
Maladies cardiovasculaires majeures	233,2	111,3	118,5	78,9
Infarctus aigu du myocarde	58,9	6,5	35,5	10,3
Morts causées par une crise cardiaque	52,1	37,1	28	3,7
Cancer pulmonaire	48,2	73,2	61	209,5
Accidents, blessures accidentelles	28,6	65,5	59,2	30,9
Accidents de transport (véhicule à moteur, autres modes de transport terrestre, aérien, par eau ou non précisé)	9,9	19,6	16,6	27,5
Noyade accidentelle	0,8	9,8	7,1	<0,5
Lésions autoinfligées (suicide)	11,9	19,6	23,7	106,4

C'est dans les trois territoires qu'on retrouve les taux les plus élevés d'insécurité alimentaire au Canada. La proportion de foyers monoparentaux dirigés par des femmes y est également nettement plus élevée qu'ailleurs (*voir* le tableau 6; Statistique Canada, 2001, 2005a). Un achat d'épicerie normal peut également y coûter trois fois plus cher que dans le sud du Canada (*voir* le tableau 7; Statistique Canada, 2005a). Dans les collectivités non desservies par des routes (p.ex., Nunavut, Nunavik et Nunatisavut et quelques régions et collectivités plus petites des Territoires du Nord-Ouest et du Yukon), l'accès aux produits alimentaires dépend de l'approvisionnement par voie aérienne ou maritime, ce qui en fait considérablement monter le prix. Des données de 2001 indiquent que 68 p. 100 des ménages du Nunavut, 49 p. 100 de ceux des Territoires du Nord-Ouest et 30 p. 100 de ceux du Yukon ont manqué, au moins une fois dans l'année, des ressources nécessaires à l'achat de toute la nourriture dont ils avaient besoin.

Même si la santé de certains résidents du Nord est menacée par des problèmes physiques, économiques et administratifs, Chapin *et al.* (2005) ont fait remarquer que la cause la plus préoccupante du déclin du bien-être des Autochtones des régions circumpolaires est la détérioration des liens culturels qui les rattachent aussi bien aux activités de subsistance qu'à celles liées au milieu naturel. La perte du lien avec la terre causée par les changements de mode de vie, la perte de la langue et la prépondérance des systèmes d'éducation non autochtones a des incidences variées et persistantes sur la santé et le bien-être de ces populations.

TABLEAU 6 : Sélection d'indicateurs sociaux et économiques au Canada et dans les territoires nordiques du Canada (Statistique Canada, 2001, 2002).

Indicateur	Canada	Yukon	T.N.-O.	Nunavut
Soutien social élevé	-	78,0	74,5	58,1
Sentiment d'appartenance à la communauté locale (très fort ou plutôt fort)[1]	**62,3**	**69,3**	**72,3**	**80,9**
Proportion des familles de recensement qui sont monoparentales et dont le chef est une femme	15,7	19,8	21,0	25,7
Revenu personnel moyen ($) (en 2000)	**29 769**	**31 917**	**35 012**	**26 924**
Proportion du revenu total sous forme de transferts gouvernementaux (p. 100) (2000)	11,6	8,6	7,3	12,9
Pourcentage de chômeurs chroniques (population active de 15 ans et plus)[2]	**3,7**	**6,0**	**4,8**	**11,2**
Pourcentage des personnes de 25 à 29 ans qui détiennent un diplôme d'études secondaires	85,3	85,4	77,5	64,7

[1] Niveau de la perception du soutien social déclaré par les personnes de 12 ans ou plus, d'après leurs réponses à huit questions sur le fait de pouvoir se confier à quelqu'un sur qui elles peuvent compter en cas de crise, lorsqu'elles ont besoin de conseils ou souhaitent partager leurs inquiétudes et leurs préoccupations.

[2] Travailleurs et travailleuses de 15 ans ou plus qui n'ont occupé aucun emploi durant l'année courante ou précédente.

TABLEAU 7 : Coût ($) du Panier de provisions nordique[1] en 2006[2] pour des localités nordiques et méridionales choisies (Affaires indiennes et du Nord Canada, 2007).

Localité	Périssables	Non périssables	Total du panier de provisions
Nunavut			
Iqaluit (2005)	114	161	275
Pangnirtung (Baffin) (2005)	127	165	292
Rankin Inlet (Kivalliq)	153	165	318
Kugaaruk (Kitikmeot)	135	187	322
Territoires du Nord-Ouest			
Yellowknife	65	94	159
Deline	148	161	309
Tuktoyaktuk	129	154	282
Paulatuk	180	167	343
Yukon			
Whitehorse (2005)	64	99	163
Old Crowe	169	219	388
Villes du sud choisies			
St. John's (Terre-Neuve)	66	78	144
Montréal (Québec)	64	90	155
Ottawa (Ontario)	72	93	166
Edmonton (Alberta)	65	108	173

[1] Le Panier de provisions nordique (PPN) comporte 46 produits et est basé sur le Panier de provisions nutritif et économique utilisé par Agriculture Canada pour évaluer le coût d'un régime nutritif d'une famille de quatre personnes à faible revenu (une fille âgée entre 7 et 9 ans, un garçon âgé entre 13 et 15 and, un homme et une femme âgés entre 25 et 49 ans). Pour la liste des produits du PPN, voir <http://www.inac.gc.ca/ps/nap/air/Fruijui/NFB/nfb_f.html>.

[2] À moins d'indication contraire

2.3 CONDITIONS CLIMATIQUES PASSÉES ET FUTURES

2.3.1 Conditions climatiques passées

En raison de la forte variabilité naturelle du climat de l'Arctique et du manque de données d'observation, il est difficile de distinguer clairement des signes de changement climatique dans les tendances constatées pendant la période de collecte de données réalisée à l'aide d'instruments (McBean *et al.*, 2005). Comme peu de stations disposent de données antérieures à 1950, on ne peut estimer les tendances et la variabilité que pour la deuxième moitié du XX^{e} siècle. Pour la période de 1950 à 1998, l'analyse des températures annuelles moyennes montre un gradient qui se déplace d'ouest en est, allant d'un réchauffement significatif de 1,5 °C à 2,0 °C dans l'ouest de l'Arctique à un refroidissement significatif de –1,0 °C à –1,5 °C dans l'extrême nord-est (Zhang *et al.*, 2000). Toutes les régions accusent un réchauffement au cours de périodes plus récentes. C'est en hiver et au printemps que ces tendances sont les plus fortes. L'analyse des anomalies des températures annuelles et hivernales et les écarts des précipitations annuelles constatés dans quatre régions nordiques entre 1948 et 2005 (*voir* la figure 3) révèlent que le réchauffement le plus important a eu lieu au Yukon et dans le District du Mackenzie (respectivement 2,2 °C et 2,0 °C). Pendant la même période, les températures de l'ensemble du Canada ont monté de 1,2 °C (*voir* la figure 3a; toutes les tendances sont significatives à 5 p. 100). Un grand nombre des hivers les plus chauds constatés dans ces régions, dont celui de 2006, ont eu lieu au cours de la période plus récente. Dans le nord-ouest du Canada en général, on constate, pour la période de 1950 à 1998, une tendance à une diminution du nombre de jours de température extrêmement basse et une augmentation du nombre de jours de température extrêmement élevée en hiver, au printemps et en été (Bonsal *et al.*, 2001b).

Tout le Nord canadien a connu une augmentation des précipitations annuelles totales (de 1948 à 2005), les plus fortes survenant dans les régions de la toundra arctique (+25 p. 100) et des montagnes de l'Arctique (+16 p. 100; *voir* la figure 3c). Dans les régions de l'Extrême-Arctique, l'augmentation est manifeste pour toutes les

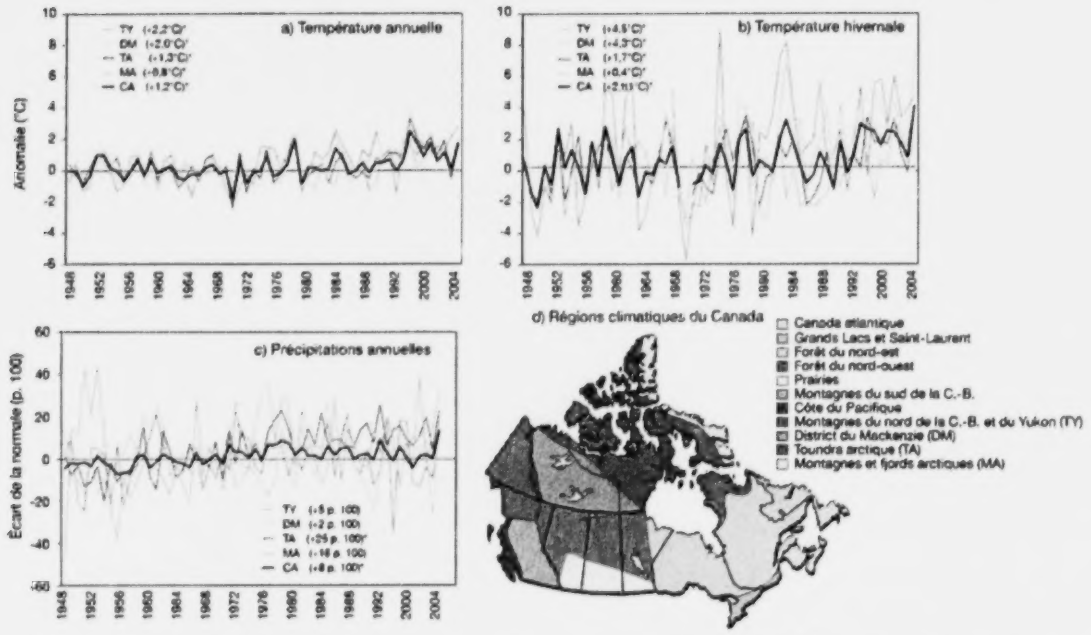


FIGURE 3 : Anomalies de température et écarts des précipitations par rapport à la normale, par région, dans le Nord canadien : a) température annuelle; b) température hivernale; c) précipitations annuelles; d) régions climatiques du Canada. La tendance linéaire pour la période d'enregistrement est indiquée entre parenthèses. Les astérisques désignent les tendances significatives à un niveau de confiance de 0,05. Les données proviennent du Bulletin des tendances et des variations climatiques d'Environnement Canada.

saisons, les tendances étant particulièrement prononcées en automne, en hiver et au printemps (*voir* Zhang *et al.*, 2000). L'ampleur des épisodes de fortes précipitations a augmenté pendant la période où l'on a recueilli des données (Mekis et Hogg, 1999); on constate, en outre, une augmentation décennale prononcée des chutes de neige abondantes dans le nord du Canada (Zhang *et al.*, 2001b).

Les tendances et la variabilité constatées des températures et des précipitations dans le nord du Canada ressemblent à celles constatées dans l'ensemble de l'Arctique (McBean *et al.*, 2005). Dans tout l'Arctique circumpolaire (au nord du 60° degré de latitude Nord), les températures annuelles de l'air ont monté, au XX^{e} siècle, de 0,09 °C par décennie. La période allant de 1900 au milieu des années 1940 a été marquée par un réchauffement, suivi d'un refroidissement jusqu'au milieu des années 1960 et, depuis, d'un réchauffement accéléré. Le réchauffement des dernières décennies s'est manifesté à toutes les saisons, mais surtout en hiver et au printemps. Pour ce qui est des précipitations, on constate, dans l'ensemble de l'Arctique, une augmentation de 1,4 p. 100 par décennie pour la période allant de 1900 à 2003. Les augmentations les plus importantes ont eu lieu en automne et en hiver. Quelques études indiquent aussi que le pourcentage des précipitations annuelles tombant sous forme de neige a diminué, ce qui correspond bien à l'élévation générale des températures (McBean *et al.*, 2005).

Les données sur l'histoire climatique du Nord canadien antérieure à la période où les enregistrements ont été fais à l'aide d'instruments proviennent d'archives naturelles variées, comme les cernes de croissance des arbres, les sédiments lacustres et marins, et la glace de glacier, ainsi que de la cartographie et de la datation de moraines glaciaires et d'autres éléments géomorphologiques (McBean *et al.*, 2005). Depuis 10 000 ans, le climat du Nord s'est maintenu relativement chaud et remarquablement stable (*voir* la figure 4). Depuis 2 000 ans, il se caractérise par des oscillations pluricentennales entre des conditions de temps doux (semblables à celles de l'ère moderne) et de temps relativement froid généralisé (*voir* la figure 5). On croit que la forme générale de la variabilité reflète, principalement, des fluctuations naturelles à long terme de la circulation atmosphérique circumpolaire, qui se sont exprimées, pendant le Petit Âge glaciaire (environ 1500-1800 après J.-C.), par une pénétration accrue de l'air froid de l'Arctique vers le sud à cause d'une intensification de la circulation méridienne (Kreutz *et al.*, 1997).

Le climat des 400 dernières années se caractérise par un réchauffement et par les transformations qu'il provoque dans la plus grande partie de l'Arctique, comme le recul des glaciers, la réduction de la superficie de la glace de mer, la fonte du pergélisol et l'altération des écosystèmes terrestres et aquatiques (Overpeck *et al.*, 1997). Toutefois, depuis environ 150 ans, on constate des transformations d'une rapidité et d'une nature sans précédent depuis le réchauffement subit qui s'est produit au début de la période interglaciaire actuelle, il y a plus de 10 000 ans. On prévoit que cette accélération rapide de la hausse des températures dans l'Arctique se poursuivra pendant tout le XXI^{e} siècle (Kattsov *et al.*, 2005).

2.3.2 Conditions climatiques à venir

Une étude sur la capacité de sept modèles de circulation générale à couplage atmosphère-océan (MCGAO; *voir* le chapitre 2) à simuler les valeurs moyennes et la variabilité spatiale des températures et des précipitations actuelles (de 1961 à 1990) dans quatre régions

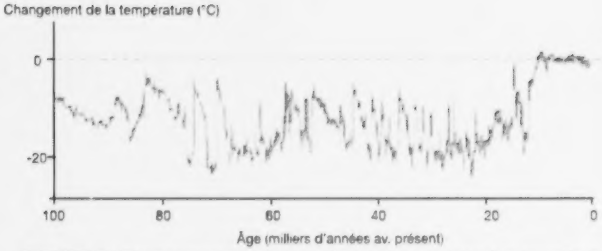


FIGURE 4 : Changements de la température (par rapport à aujourd'hui) au cours des 100 000 dernières années; reconstruction faite à l'aide d'une carotte de glace du Groenland (Ganopolski et Rahmstorf, 2001).

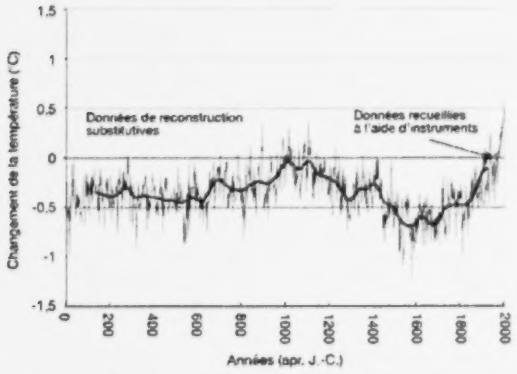


FIGURE 5 : Reconstruction des données de température annuelle moyenne dans l'hémisphère Nord, exprimée sous forme d'écarts par rapport à la moyenne du XX^{e} siècle (Moberg *et al.*, 2005)

couvrant le Nord du Canada révèle une importante variabilité interrégionale et saisonnière, et une simulation plus exacte des températures que des précipitations (Bonsal et Prowse, 2006; *voir* également Kattsov *et al.*, 2005). Les modèles HadCM3 (Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Grande-Bretagne), ECHAM4 (Max Planck Institut für Meteorologie, Allemagne) et CCSRNIES (Centre for Climate Research Studies, Japon) donnent les meilleures reconstitutions des températures annuelles et saisonnières de toutes les sous-régions. Les modèles MCCG2 (Centre canadien de modélisation et de l'analyse climatique, Canada) et NCAR-PCM (National Center for Atmospheric Research, États-Unis) ont une capacité de prédiction moyenne, tandis que les modèles CSIROMk2 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australie) et GFDL-R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, États-Unis) sont les moins représentatifs. Collectivement, les simulations de températures par les MCGAO montrent un niveau de précision semblable pour toutes les sous-régions. Par contre, la majorité des modèles ne simulent exactement les précipitations que pour la région du nord du Québec et du Labrador. Tous les MCGAO surestiment largement les précipitations annuelles et saisonnières dans l'ouest et dans le centre de l'Arctique canadien.

Projections de l'évolution du climat dans le Nord canadien

En se basant sur la période de référence s'étendant de 1961 à 1990, des scénarios de changement climatique pour les périodes de 30 ans centrées sur les décennies 2020 (2010 à 2039), 2050 (2040 à 2069) et 2080 (2070 à 2099) sont présentés sous forme de diagrammes de dispersion et de cartes (*voir* les descriptions à l'annexe 1 du chapitre 2).

Les diagrammes de dispersion pour les régions ouest et est du Nord, séparées par le 102^{e} degré de longitude Ouest, révèlent peu d'écarts entre les deux régions quant aux projections (*voir* la figure 6). Pour la décennie 2020, l'ouest et l'est présentent des variations de la température annuelle moyenne concentrées près de +2,0 °C et des augmentations des précipitations variant entre 5 et 8 p. 100. C'est pour la décennie 2080 que la variabilité entre les modèles est la plus forte. La variation de la température médiane atteint presque +6,0 °C, mais varie entre +3,5 °C (NCAR-PCM – scénario B2) et +12,5 °C (CCSRNIES – scénario A1FI), dans la région ouest. La plupart des scénarios projettent une augmentation de 15 à 30 p.100 des précipitations annuelles. Il est à noter que, pour toutes les périodes, les projections dépassent les niveaux modélisés de variabilité naturelle, comme l'indiquent les carrés gris dans la figure 6.

Les diagrammes de dispersion pour la décennie 2050 donnent un bon aperçu des projections de changements saisonniers du climat (*voir* la figure 7). Malgré le niveau élevé de variabilité entre les modèles, on prévoit que les changements de température les plus importants se produiront en hiver. Les projections indiquent des températures hivernales légèrement plus élevées dans l'est de l'Arctique que dans l'ouest. Les hausses de température les plus faibles sont prévues en été, saison pour laquelle la variabilité entre les modèles est la moins élevée. Les augmentations de précipitations en hiver vont de près de 0 p. 100 pour l'ensemble des deux régions à plus de 40 p. 100 dans l'est, et la plupart des scénarios prévoient une augmentation des précipitations hivernales de 20 à 30 p. 100. En été, tous les modèles prévoient des augmentations de 5 à 20 p. 100, avec une valeur médiane de 10 p. 100.

D'après la caractérisation spatiale des changements des températures annuelles et saisonnières projetés pour le nord du Canada, les changements les plus importants se produiront aux latitudes les plus élevées, surtout dans le nord-ouest de l'Extrême-Arctique (*voir* les figures 8 et 9). Pour l'ensemble de la région, on prévoit que les changements de température les plus importants surviendront en hiver et en automne. Les projections des changements des précipitations annuelles et saisonnières font preuve d'une variabilité spatiale considérable pour tout l'Arctique canadien et les augmentations annuelles les plus importantes sont prévues dans les régions les plus septentrionales (*voir* les figures 10 et 11). Les cartes saisonnières pour les années 2050 indiquent une variabilité encore plus élevée, et les changements les moins importants semblent correspondre à une baisse des précipitations dans certaines parties de la région pour toutes les saisons. Les projections médianes semblent indiquer que les augmentations les plus importantes se produiront en automne et en hiver, surtout dans les régions les plus septentrionales.

La forte variabilité inhérente au climat de l'Arctique rend encore plus incertaines les projections de changement des températures et des précipitations. Étant donné les conclusions de Bonsal et Prowse (2006), on recommande d'avoir recours, pour l'examen des incidences possibles dans le Nord, à une plage de projections du climat (*voir* également le chapitre 2). Il faut traiter avec circonspection les valeurs aberrantes, comme les projections de faibles précipitations du MCCG2 et les fortes élévations de température du CCRSNIES (*voir* la figure 8), puisqu'elles diffèrent considérablement des projections des autres modèles.

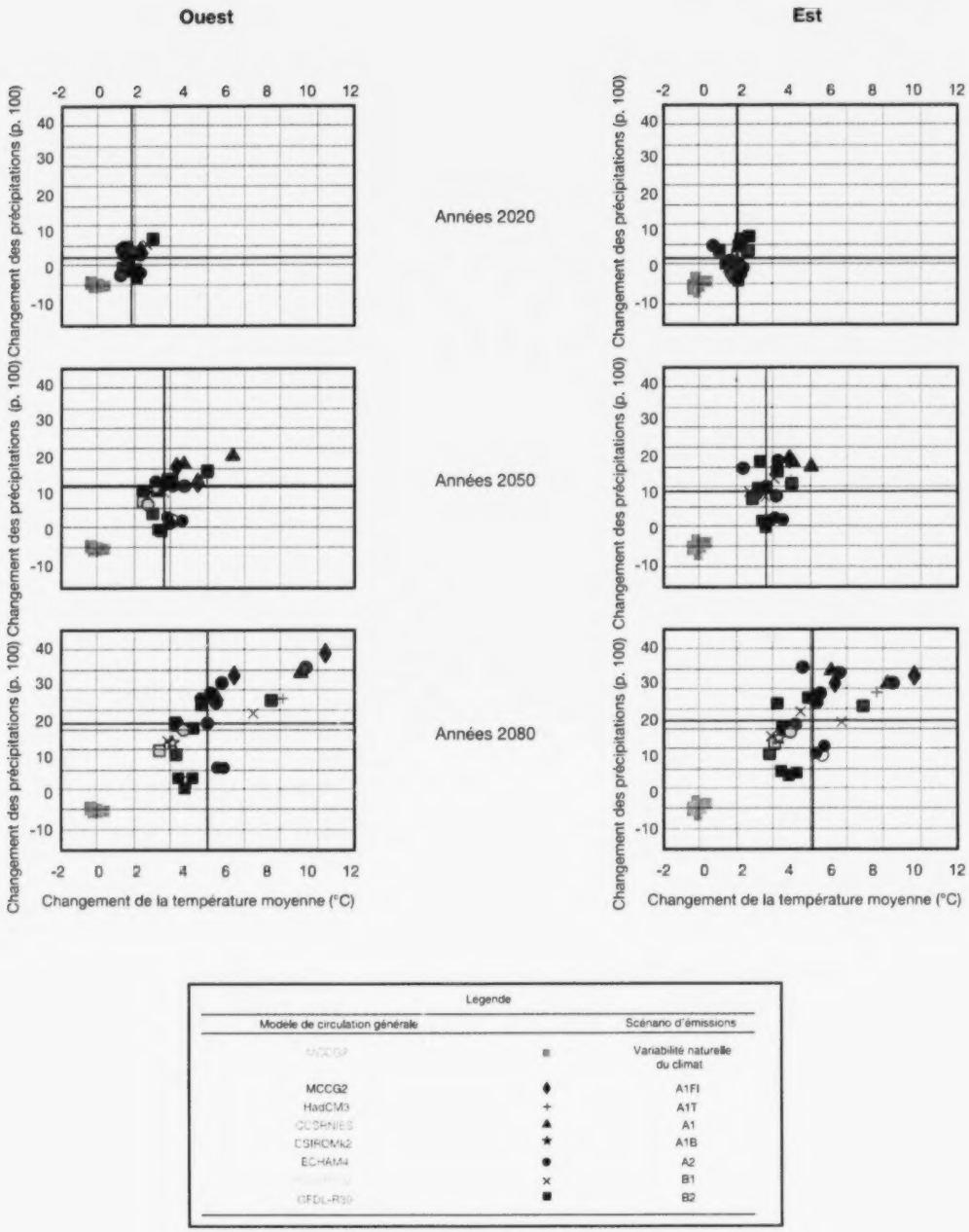


FIGURE 6 : Diagrammes de dispersion des changements projetés des températures et des précipitations annuelles moyennes dans les régions est (à droite) et ouest (à gauche) du Nord du Canada. Les lignes bleues représentent des changements moyens de la température et des précipitations moyennes déterminées à partir d'un ensemble de scénario indiqués sur le graphique (voir l'annexe du chapitre 2 pour les détails).

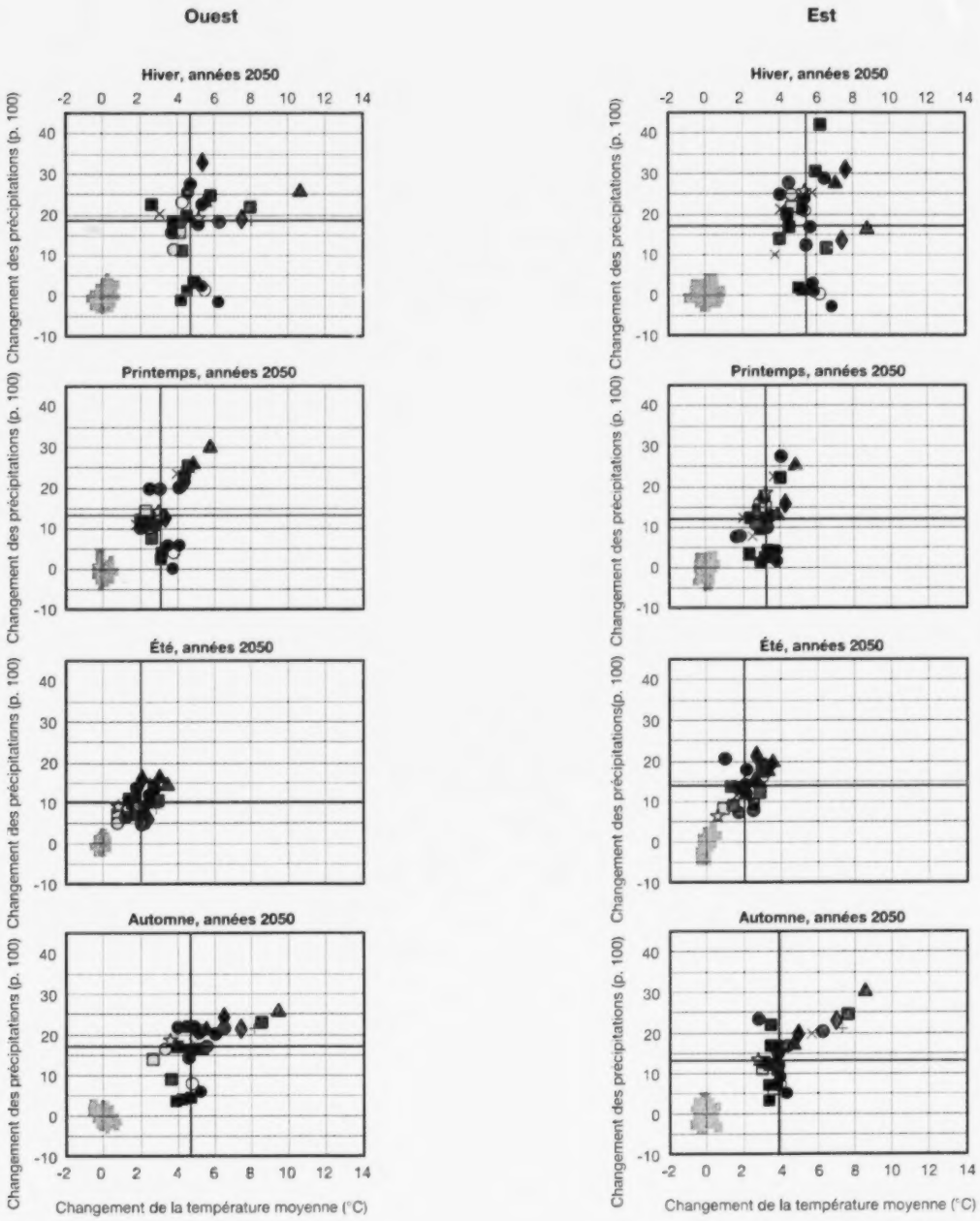


FIGURE 7 : Diagrammes de dispersion des changements projetés des températures et des précipitations saisonnières dans les régions est (à droite) et ouest (À gauche) du Nord du Canada pour la période de 30 ans centrée sur la décennie 2050. Les lignes bleues représentent des changements moyens de la température et des précipitations moyennes déterminées à partir d'un ensemble de scénario indiqués sur le graphique (*voir* l'annexe du chapitre 2 pour les détails).

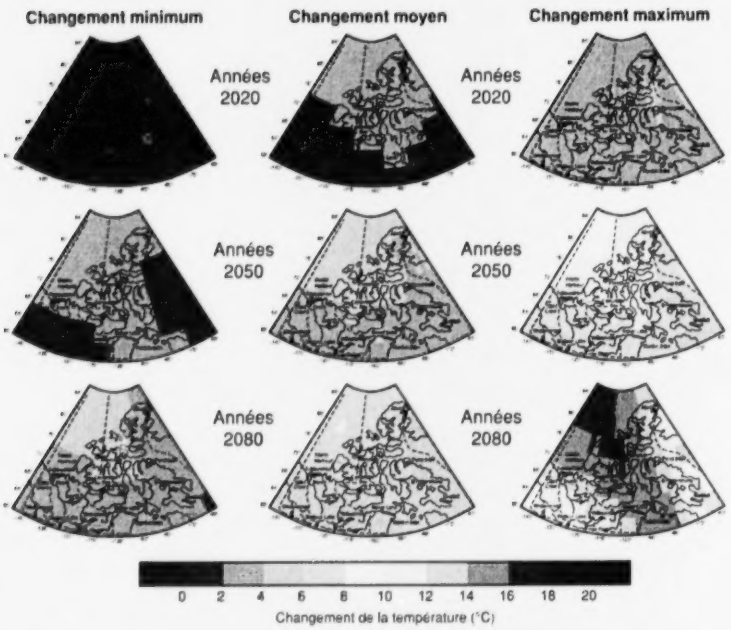


FIGURE 8 : Cartes des changements projetés des températures moyennes annuelles dans le Nord du Canada.

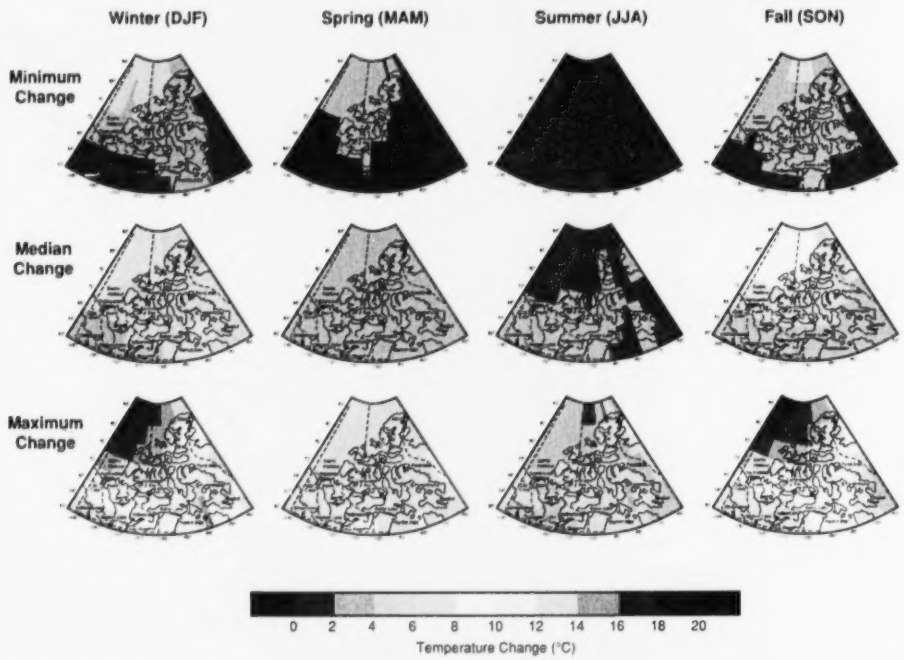


FIGURE 9 : Cartes des changements projetés des températures moyennes saisonnières dans le Nord du Canada pour la période de 30 ans centrée sur la décennie 2050.

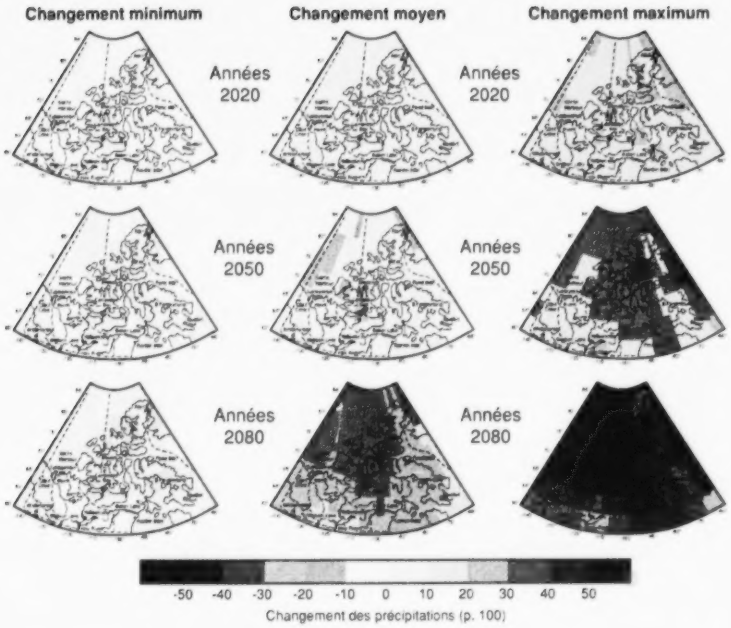


FIGURE 10 : Cartes des changements projetés des précipitations annuelles moyennes dans le Nord du Canada.

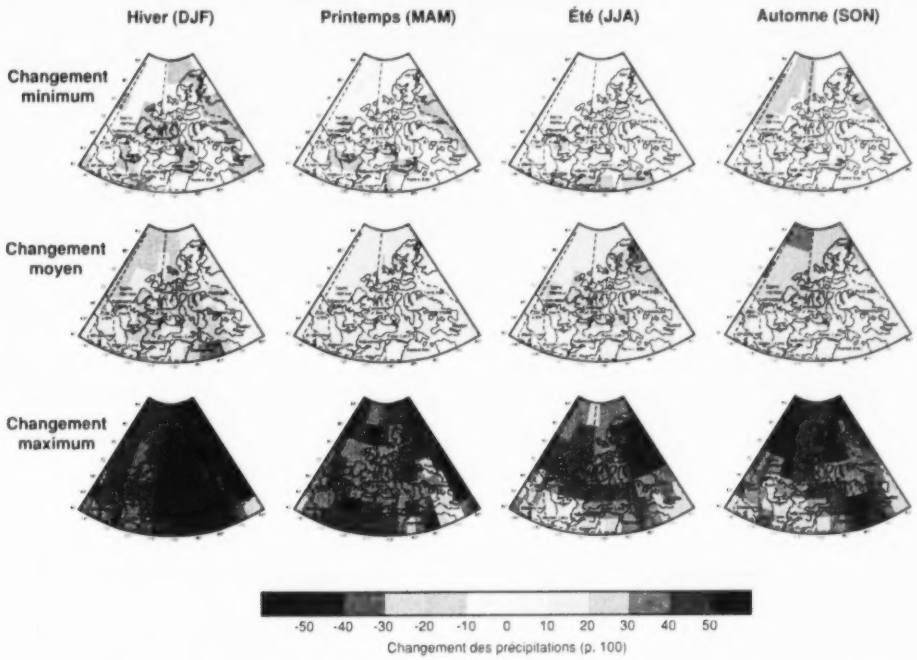


FIGURE 11 : Cartes des changements projetés des précipitations saisonnières dans le Nord du Canada pour la période de 30 ans centrée sur la décennie 2050.

3 RÉPERCUSSIONS DE L'ÉVOLUTION DU CLIMAT SUR L'ENVIRONNEMENT ARCTIQUE

De toutes les composantes de l'environnement arctique, c'est la cryosphère qui est la plus sensible aux effets de l'évolution du climat. Elle comprend la glace de mer, la couverture nivale saisonnière, les glaciers et les calottes glaciaires, le pergélisol, ainsi que la glace de lac et de cours d'eau. Tous ces éléments sont de bons indicateurs des tendances du climat. Ils jouent également un rôle actif dans les rétroactions climatiques en agissant sur les flux d'énergie, d'humidité et de gaz (p. ex., Anisimov et al., 2007; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007; Lemke et al., 2007; Trenberth et al., 2007). Les écosystèmes terrestres, dulcicoles et marins seront touchés par les transformations de la cryosphère et par d'autres aspects du changement climatique (Arctic Climate Impact Assessment, 2004, 2005). Le résumé qui suit de certains des changements les plus importants subis par la cryosphère et les écosystèmes qui lui sont reliés puise largement dans les chapitres pertinents d'une évaluation portant sur l'impact du changement climatique dans l'Arctique (Arctic Climate Impact Assessment; Callaghan et al., 2005; Walsh et al., 2005; Wrona et al., 2005).

3.1 GLACE DE MER

La superficie de la glace de mer varie généralement entre 5 ou 6 millions de kilomètres carrés, à la fin de l'été, et 14 millions de kilomètres carrés à la fin de l'hiver (Parkinson *et al.*, 1999). L'épaisseur de la couche de glace de mer varie selon son mode de dérive et de convergence d'ouest en est (du côté sibérien de l'Arctique vers l'archipel Arctique canadien). La superficie moyenne annuelle de la glace de mer dans l'hemisphère Nord a diminué de 7,4 p. 100 (3 p. 100 par décennie) entre 1978 et 2003 (Johannessen *et al.*, 2004). La superficie maximum annuelle de la glace de mer, par contre, a diminué moins rapidement, soit d'environ 2 p. 100 par décennie, tandis que la diminution de la superficie minimum annuelle a été plus rapide, soit de 5,6 p. 100 par décennie. La diminution de la superficie mimimum annuelle de la glace de mer est surtout due à une réduction de 14 p. 100 environ (6,7 p. 100 par décennie) de la glace de mer pluriannuelle entre 1978 et 1999 (Johannessen *et al.*, 1999). La perte de cette quantité de vieille banquise de l'ensemble des glaces polaires a mené à une diminution manifeste de l'épaisseur de la couche de glace au centre de l'océan Arctique (Rothrock *et al.*, 1999; Holloway et Sou, 2002).

La diminution de l'épaisseur de la glace et de sa superficie à la fin de l'été est principalement due à une sortie accrue de glace pluriannuelle de l'Arctique par le détroit de Fram entre 1989 et 2003, et non au réchauffement de l'atmosphère (Rigor *et al.*, 2002; Fowler *et al.*, 2004; Rigor et Wallace, 2004; Belchansky *et al.*, 2005). Des données recueillies en Sibérie et dans le Nord canadien pendant la deuxième moitié du XX^{e} siècle ne révèlent aucun changement significatif dans l'épaisseur de la glace de première année (Brown et Coté, 1992; Polyakov *et al.*, 2003). Bien que le taux de diminution de la superficie de la glace à la fin de l'été soit compatible avec la tendance constatée pour la glace de mer pluriannuelle (Comiso, 2002), cette diminution s'est surtout fait sentir au nord des côtes de la Russie et de l'Alaska, et beaucoup moins dans les eaux canadiennes (Walsh *et al.*, 2005). Même au milieu du XIX^{e} siècle, soit pendant une période beaucoup plus froide que la période actuelle, la superficie de la glace de mer estivale dans l'archipel Arctique canadien était, selon les journaux de bord des explorateurs, semblable à celle d'aujourd'hui (Wood et Overland, 2003).

Tous les MCGAO prévoient une réduction de la superficie de la glace de mer au cours du XXI^{e} siècle. Les projections du modèle MCCG2 indiquent que l'Arctique sera libre de glace en septembre à partir du milieu du XXI^{e} siècle. Les autres modèles prédisent des étés arctiques sans glace à partir de 2100. Les modèles, même s'ils ne s'entendent pas sur le moment où les étés arctiques seront sans glace, indiquent tous néanmoins que ces conditions apparaîtront un jour ou l'autre. En 2100, les diminutions de la superficie de la glace de mer annuelle prévues par les modèles varient environ entre 2 et 4 millions de kilomètres carrés. Aucun modèle ne prédit une absence de glace en mars. Un faible recul hivernal de la banquise à l'avenir est prévu, là où elle côtoiera des eaux tempérées (p. ex., dans les mers du Labrador, du Groenland, de Barents, d'Okhotsk et de Bering).

Les modèles de circulation générale à couplage atmosphère-océan sont limités dans leur capacité de prédire les changements de la glace de mer. La dynamique de cette dernière est encore mal comprise dans les milieux scientifiques, et la représentation du système atmosphère-glace-océan de l'Arctique dans les modèles de circulation générale est relativement primitive. La modélisation du comportement de la glace de mer est également très sensible aux rétroactions positives entre la glace de mer et le climat, et de petites erreurs de représentation de cette rétroaction peuvent avoir des répercussions importantes (Walsh *et al.*, 2005). Par exemple, la grille spatiale de l'océan modélisé est généralement trop grossière pour représenter l'archipel Arctique canadien (*voir* le tableau 4.1 de Kattsov *et al.*, 2005). Il est donc particulièrement important, si on veut prédire les changements à venir dans les régimes de la glace de mer, de disposer de données d'observation sur la superficie des glaces dans les eaux de l'Arctique canadien et de comprendre les processus physiques en jeu.

3.2 COUVERTURE NIVALE

Dans les régions arctiques, la neige peut représenter jusqu'à 80 p. 100 des précipitations annuelles. Elle isole le sol et a donc un effet sur son régime thermique et sur la répartition du pergélisol (Marsh, 1990). Elle agit aussi sur les bilans radiatifs de la surface et sur les bilans hydriques (Gray et Prowse, 1993), en plus d'avoir des effets sur l'habitat des biotes terrestres et aquatiques (p. ex., Adams, 1981).

Entre 1972 et 2003, la superficie annuelle moyenne de la couverture nivale de l'hémisphère Nord a diminué d'environ 10 p. 100, et les diminutions les plus importantes ont eu lieu au printemps et en été, ce qui correspond bien au réchauffement printanier constaté dans les régions nordiques (Brown, 2000; Walsh *et al.*, 2005). Les changements les plus importants dans l'épaisseur de la neige dans le Nord canadien pendant la période de 1946 à 1995 ont été constatés dans le bassin du Mackenzie (Brown et Braaten, 1998), même si des observations plus récentes (de 1955-1956 à 2002-2003) révèlent également des réductions significatives de l'épaisseur moyenne et maximale de la couverture nivale aux stations de l'est et de l'ouest de l'Arctique (Environnement Canada, 2007). Ces diminutions de l'épaisseur de la neige ont été accompagnées d'un raccourcissement de la durée de la couverture nivale au printemps et en été et de fortes baisses de sa superficie au printemps (Brown *et al.*, 2004).

Les hausses de température projetées entraîneront une réduction du temps disponible pour l'accumulation d'une couverture nivale hivernale et auront donc une incidence sur l'importance de la fonte printanière, qui constitue, dans la plupart des systèmes nordiques, le principal événement hydrologique de l'année (Marsh, 1990). Bien qu'on ne s'attende pas à ce que la couverture nivale annuelle moyenne change de façon importante au cours du XXI^{e} siècle, même pendant la période de 2071 à 2090, pour laquelle on prévoit des changements variant entre –9 et –18 p. 100 (Walsh et al., 2005), les changements les plus prononcés à sa superficie devraient se produire au cours des mois de novembre et d'avril, l'importance de ce dernier se faisant sentir surtout durant l'écoulement printanier.

3.3 GLACIERS ET INLANDSIS

On estime le volume total de la glace terrestre de l'Arctique circumpolaire à environ 3,1 millions de kilomètres cubes, ce qui équivaut à environ 8 m de en termes d'élévation du niveau de la mer (Dowdeswell et Hagen, 2004). Même si ces glaces sont surtout concentrées au Groenland, le Canada possède d'importants glaciers et inlandsis dans l'Extrême-Arctique et au Yukon. En général, malgré d'importantes variations régionales, les glaciers et les inlandsis de l'Arctique (à l'exception de celui du Groenland) ont subi, depuis 1920, un recul du front glaciaire et une baisse de volume (Walsh *et al.*, 2005). Dans l'Extrême-Arctique canadien (selon des données recueillies depuis les années 1960), la surveillance des glaciers et calottes glaciaires des îles de la Reine-Élisabeth (à l'exception de celle de l'île Meighen, qui peut être refroidie par un océan voisin de plus en plus libre de glace) a permis de déceler une tendance faible, mais significative, vers des bilans de masse de plus en plus négatifs, surtout à cause d'un léger réchauffement estival (Koerner, 2005).

On estime que le bilan de masse de toutes les calottes glaciaires de l'archipel Arctique canadien au cours des cinq dernières années du siècle dernier est de –25 km^{3}/an de glace, ce qui correspond à une élévation globale du niveau de la mer de 0,064 mm/an (Abdalati *et al.*, 2004). Bien que cela soit significatif, on a enregistré une ablation encore plus prononcée dans le réseau de glaciers du Yukon et de l'Alaska, où la fonte accélérée de 1,5 ± 0,5 mm/an représente presque 9 p. 100 de l'élévation constatée du niveau global de la mer au cours des 50 dernières année et un apport pouvant atteindre 3,2 mm/an pendant la dernière décennie environ (Arendt *et al.*, 2002). Pour la période allant du milieu des années 1990 à 2000-2001, l'amenuisement des glaciers du Yukon et de l'Alaska équivaut probablement à une hausse du niveau de la mer deux fois plus élevée que celle estimée pour la fonte de l'inlandsis du Groenland au cours de la même période (Rignot et Thomas, 2002).

On prévoit qu'à long terme l'inlandsis du Groenland fournira l'apport le plus important au changement du niveau de la mer, même si on prévoit que l'eau de la fonte des glaciers de l'Alaska et du Yukon y contribuera elle aussi de façon significative (Arendt *et al.*, 2002; Meier et Dyurgerov, 2002). Les apports futurs de l'Extrême-Arctique ne sont pas encore quantifiés, mais ils pourraient eux aussi être importants (Abdalati *et al.*, 2004). La fonte des glaciers a aussi un effet sur l'ampleur et le rythme des écoulements des rivières et sur la configuration du drainage (p. ex., Clague *et al.*, 2006).

3.4 PERGÉLISOL

La surveillance thermique du mollisol et du pergélisol effectuée depuis 20 à 30 ans indique que le pergélisol s'est récemment réchauffé dans nombre de régions de la zone de pergélisol canadienne (p. ex., Broll *et al.*, 2003; Couture *et al.*, 2003; Kershaw, 2003; Smith *et al.*, 2003, 2005) et que la profondeur du dégel estival s'est accrue pendant les années 1990 (p. ex., Smith *et al.*, 2001b, 2005; Mackay et Burn, 2002; Nixon *et al.*, 2003; Tarnocai *et al.*, 2004). L'ampleur du réchauffement du pergélisol varie à la fois selon la région (Smith *et al.* 2005) et dans le temps. Le réchauffement le plus important a généralement été constaté dans l'Arctique occidental et le réchauffement le plus tardif, dans l'Arctique oriental ou dans l'Extrême-Arctique (Brown *et al.*, 2000; Smith *et al.*, 2005). La réaction du mollisol au temps très chaud, comme celui de 1998 (p. ex., Smith *et al.*, 2001b), concorde avec celle constatée pour les autres composantes de la cryosphère (Atkinson *et al.*, 2006).

Environ la moitié de la zone de pergélisol du Canada est constituée de pergélisol dont la température est supérieure à –2 °C et sensible au réchauffement climatique prévu qui pourrait donc, à terme, le faire disparaître (*voir* la figure 12; Smith et Burgess, 2004). Là où le pergélisol est plus épais et plus froid, il se produira probablement un épaississement du mollisol, accompagné d'un réchauffement et d'un amincissement du pergélisol. Les prévisions d'épaississement du mollisol vont de 0 p. 100 à plus de 50 p. 100 au cours des 50 prochaines années (Walsh *et al.*, 2005). Les augmentations les plus importantes devraient avoir lieu au Yukon. On prévoit une dégradation du pergélisol continu en pergélisol discontinu, ainsi que la disparition du pergélisol discontinu, aux limites sud de ces zones de pergélisol. Le dégel du pergélisol est susceptible de libérer de grandes quantités de carbone, ce qui pourrait avoir un effet de rétroaction sur le système climatique (p. ex., Tarnocai, 2006; Callaghan *et al.*, 2005; Zimov *et al.*, 2006).

La sensibilité du pergélisol au dégel et son tassement ont une grande influence sur la stabilité du paysage et sur le rendement des infrastructures sus-jacentes. Les cartes à l'échelle nationale de Smith et Burgess (2004; *voir* la figure 13) ont démontré que la sensibilité au dégel est de modérée à élevée dans environ 50 p. 100 des zones de pergélisol actuelles (à l'exclusion de celles où des quantités de glace massive sont présentes et où la sensibilité pourrait être plus élevée que celle indiquée). Les terrains argileux et organiques de la région du Mackenzie et les tourbières du nord des Prairies et des basses terres de la baie d'Hudson font partie des régions où les sols gelés sont sensibles au dégel.

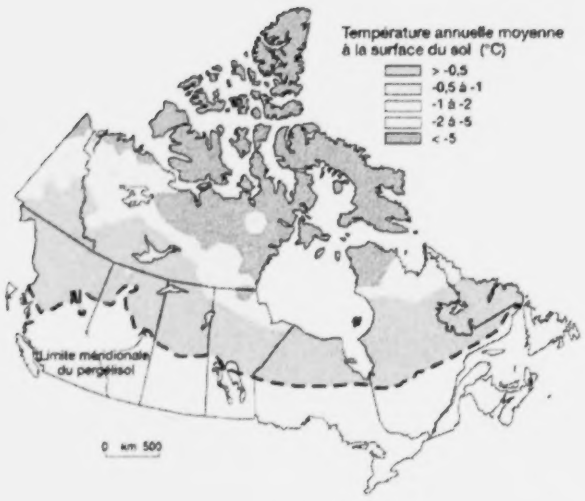


FIGURE 12 : Variation de la température annuelle moyenne à la surface du sol dans les zones de pergélisol du Canada (Smith et Burgess, 2004).

Le pergélisol joue un rôle important dans l'hydrologie du Nord à cause de son influence sur l'infiltration, sur l'écoulement de surface et sur le stockage et l'écoulement de l'eau souterraine. Les effets sur l'hydrologie du Nord des transformations du pergélisol causées par le climat ont été résumés dans les études de Woo *et al.* (1992), Michel et van Everdingen (1994), Brown *et al.*, (2004), Mackenzie River Basin Board (2004) et Smith et Burgess (2004). L'épaississement du mollisol et la dégradation du pergélisol causés par le réchauffement climatique peuvent entraîner une augmentation de l'infiltration et de l'accumulation d'eau souterraine, une réduction de l'écoulement printanier et un accroissement du débit de base (Woo *et al.*, 1992). L'eau souterraine jouera donc dorénavant un rôle plus important dans l'écoulement fluvial, phénomène qui aura une incidence sur la qualité de l'eau de surface (Michel et van Everdingen, 1994). La fonte de la glace dans le sol pourrait entraîner un tassement non uniforme et la formation d'étangs, ce qui aura des répercussions sur le drainage et sur la répartition de l'eau de surface. Le dégel du pergélisol riche en glace pourra également entraîner l'assèchement de lacs et de terres humides, et donc une perte d'habitat pour les poissons et les espèces sauvages (Labrecque et Duguay, 2001; Marsh et Neumann, 2001).

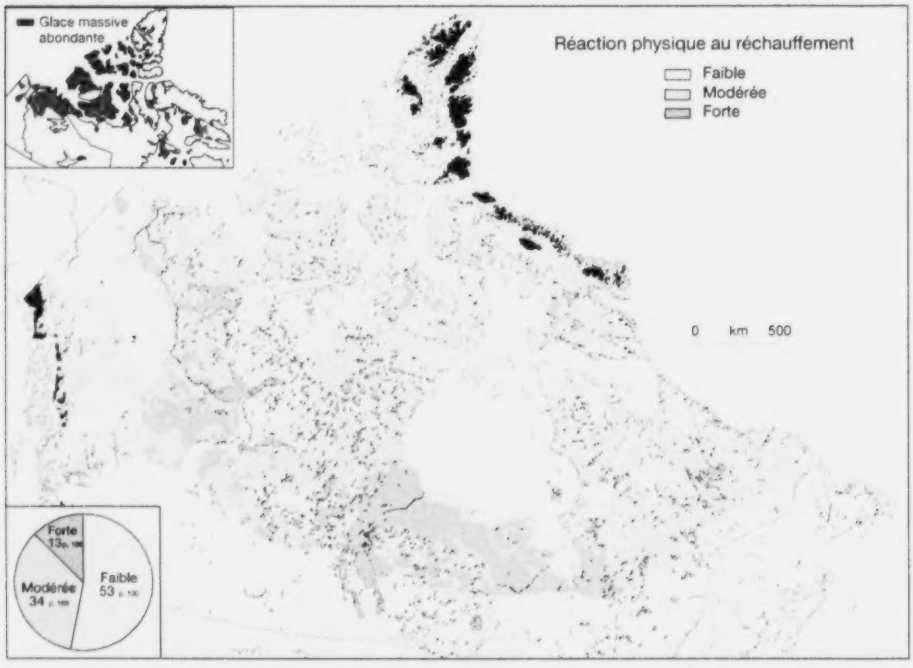


FIGURE 13 : Réaction physique relative (sensibilité au phénomène de fonte) du pergélisol au réchauffement climatique (Smith et Burgess, 2004).

3.5 GLACE DE LACS ET DE COURS D'EAU

La glace d'eau douce est responsable du moment de survenue et de la gravité de nombreux phénomènes hydrologiques extrêmes dans les systèmes nordiques, comme, les basses eaux et les inondations correspondant aux périodes de prise et de rupture de la glace (p. ex., Beltaos et Prowse, 2001; Prowse et Carter, 2002). La glace de cours d'eau joue aussi un rôle très important dans l'écologie des cours d'eau (Prowse et Culp, 2003), en particulier dans le delta du Mackenzie (Marsh et Lesack, 1996).

Pour la période de 1846 à 1995, des données d'observation sur la prise et la rupture de la glace des lacs et des cours d'eau de l'hémisphère Nord recueillies, entre autres, sur une longue durée à un site du Mackenzie indiquent un retard moyen de 5,8 jours par siècle de la prise de la glace et une avance moyenne de 6,3 jours par siècle de la rupture (Magnuson *et al.*, 2000). Les données canadiennes pour la période de 1947 à 1996 révèlent que les sites de l'ouest ont tendance à avoir des ruptures plus précoces et qu'il existe une tendance nationale à une prise de la glace plus précoce (Zhang *et al.*, 2001a). Cependant, les tendances de rupture et de prise de la glace présentent une certaine complexité et sont fonction de l'intervalle de temps au cours duquel on en tient compte, mais elles reflètent de façon générale des tendances propres aux températures de l'air à l'automne et au printemps (p. ex., Lacroix *et al.*, 2005; Duguay *et al.*, 2006).

Prowse et Beltaos (2002) décrivent les complexités de la réaction de la glace d'eau douce aux changements des conditions climatiques. Bien que les changements soient difficiles à prédire (Bonsal et Prowse, 2003), le réchauffement à venir entraînera probablement un raccourcissement de la saison des glaces et un amincissement de la couche de glace sur les lacs et les cours d'eau. Il se peut aussi que la composition de la couche de glace soit modifiée par l'augmentation des chutes de neige en hiver (c.-à-d. pourcentage de glace blanche). Les changements relatifs aux chutes de neige hivernales auront une influence déterminante sur l'augmentation ou la diminution de la gravité des événements liés aux glaces de rivière, comme les inondations causées par les embâcles (Walsh *et al.*, 2005).

3.6 APPORT D'EAU DOUCE

Les cours d'eau qui se déversent dans l'océan Arctique ont un faible écoulement hivernal, de forts débits printaniers (à cause de la fonte de la neige) et des crues estivales et automnales causées par la pluie. C'est la fonte de la neige qui alimente la plus grande partie des débits des cours d'eau de l'Extrême-Arctique (Woo, 1990). L'écoulement des grands fleuves, comme le Mackenzie, subit davantage l'influence des régimes hydrologiques de leurs cours supérieurs méridionaux non arctiques (Prowse *et al.*, 2006).

Les tendances constatées des débits varient selon la région; en effet, des études signalent, depuis les années 1960, aussi bien des augmentations que des diminutions de débit. De 1964 à 2003, le débit annuel total de 64 rivières qui se déversent dans la mer du Labrador, la baie d'Hudson, l'océan Arctique et le détroit de Béring a diminué de 10 p. 100 (Dery *et al.*, 2005). Zhang *et al.* (2001a) ont décelé, pour la période allant de 1967 à 1996, une tendance à l'augmentation de l'écoulement fluvial dans l'inlet Chesterfield, tandis que les rivières du nord de l'Ontario et du Québec affichent, elles, une diminution de l'écoulement. Pour la période de 1964 à 2000, il a été impossible d'identifier une tendance significative pour le fleuve Yukon (McClelland *et al.*, 2006).

Les projections des modèles pour 2050 indiquent des augmentations du débit fluvial. Arnell (1999), par exemple, a conclu que l'écoulement annuel total du Mackenzie pourrait augmenter de 12 à 20 p. 100 par rapport à la moyenne de la période de référence de 1961 à 1990, alors que celui du Yukon augmenterait de 20 à 30 p. 100. En gros, les prévisions quant au climat à venir indiquent que, d'ici à 2050 environ, l'écoulement annuel total vers l'océan Arctique en provenance des territoires arctiques pourrait augmenter de 10 à 20 p. 100 et l'écoulement hivernal, de 50 à 80 p. 100. On prévoit aussi qu'entre 55 et 60 p. 100 de l'écoulement annuel vers l'océan Arctique se fera entre avril et juillet (saison d'écoulement maximal; Arnell, 1999; Arora et Boer, 2001).

3.7 ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER ET STABILITÉ DU LITTORAL

Le changement climatique entraînera une hausse du niveau de l'océan Arctique (Proshutinsky *et al.*, 2001) et des autres mers septentrionales. Le réchauffement climatique agit sur le niveau de la mer par l'intermédiaire de l'expansion thermique des océans et des apports d'eau additionnels générés par la fonte des glaciers et des inlandsis. Le Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2007a) prévoit que le niveau moyen de la mer (NMM) montera de 0,18 à 0,59 m d'ici à 2100 (NMM pour 2090 à 2099 par rapport au NMM pour 1980 à 1999). Cette élévation ne se fera pas partout de façon uniforme et quelques zones, dont certaines régions de l'Arctique, pourraient faire face à des augmentations plus rapides. En outre, le changement relatif du niveau de la mer le long d'une côte donnée (mesuré par un marégraphe) est une combinaison du changement de niveau de la mer et du mouvement vertical des terres. Dans l'Arctique, la source principale de mouvement vertical est le relèvement isostatique postglaciaire, qui entraîne, à certains endroits, un soulèvement pouvant atteindre 1 m par siècle. D'autres zones situées autour des limites des anciens inlandsis (le littoral de la mer de Beaufort, la limite ouest de l'archipel Arctique canadien et une bande étroite dans l'est de l'île Devon et sur la côte est de l'île de Baffin), par contre, subissent un affaissement (Forbes *et al.*, 2004).

L'élévation du niveau de la mer fait croître les risques d'inondation et d'érosion des côtes de l'Arctique et peut contribuer à d'autres dangers pour les côtes, comme le chevauchement et l'accumulation de la glace sur les berges. Dans l'Arctique occidental, l'élévation du niveau de la mer et l'érosion des côtes menacent des sites patrimoniaux (anciennes habitations et lieux d'inhumation) de la côte du Yukon (p. ex., l'île Herschel), des établissements saisonniers (p. ex., Shingle Point au Yukon) et des collectivités côtières (p. ex., Tuktoyaktuk, dans les Territoires du Nord-Ouest; Colette, 2007). L'érosion des côtes cause problème dans d'autres collectivités de l'Arctique occidental, dont Sachs Harbour, et, de façon moins préoccupante, Ulukhaktok, dans les Territoires du Nord-Ouest (Manson *et al.*, 2005). On a aussi noté que le niveau élevé de l'eau est source d'inquiétude à Cambridge Bay, au Nunavut (Shirley, 2006). Dans l'Arctique oriental, des problèmes liés au niveau élevé de l'eau et à l'érosion ont été relevés à Hall Beach, Iqaluit, Pond Inlet et Arctic Bay, au Nunavut, ce qui a donné lieu à des discussions sur les possibilités d'adaptation (Shirley, 2006; Ford *et al.*, 2006a; Bhabesh Roy, ingénieur régional, Gouvernement du Nunavut, communication personnelle, 14 mars 2007). À l'exception de Hall Beach, les collectivités touchées sont dans des zones de croûte presque stable ou subsidente, où la hausse du niveau de la mer est

susceptible de dépasser le soulèvement résiduel ou de s'ajouter au taux de subsidence. La diminution de la glace de mer, l'accroissement des eaux libres et l'augmentation de l'énergie des vagues peuvent s'avérer des facteurs importants à un certain nombre d'endroits, dont Hall Beach, marqués par le soulèvement postglaciaire et l'émersion côtière en cours.

Dans les localités de faible altitude, telles que Tuktoyaktuk, les risques d'inondation les plus élevés sont associés aux fortes ondes de tempête, qui peuvent parfois atteindre une hauteur de plus de 2 m au-dessus du niveau moyen de la mer (Manson *et al.*, 2005). En un seul événement, les ondes de tempête peuvent faire reculer les côtes de 10 m ou plus. L'élévation du niveau de la mer entraînera une hausse de la limite supérieure de la possibilité d'inondation par les ondes de tempête et une augmentation de la fréquence des inondations dans les zones de faible altitude. On ne constate aucune tendance claire quant à la fréquence des tempêtes dans l'Arctique canadien au cours des 50 dernières années (Atkinson, 2005). Une hausse des températures du sol, un dégel estival plus profond et une perte de volume due à la fonte de la glace excédentaire et de la glace massive dans le sol aux endroits où elle est exposée dans les falaises côtières peuvent contribuer à l'accélération de l'érosion (Forbes, 2005). Même si certains indices laissent croire à une accélération de l'érosion dans l'Arctique occidental, y compris sur les côtes du Yukon et de l'Alaska, une analyse régionale du secteur sud de la mer de Beaufort n'a pas permis de déceler une tendance significative dans les régions où l'érosion a été rapide pendant la période de 1972 à 2000 (Solomon, 2005). Cependant, on peut s'attendre à ce que la combinaison d'un réchauffement, d'une hausse du niveau de la mer et d'une réduction de la glace de mer ait pour effet de maintenir ou d'accélérer le rythme déjà élevé du recul des côtes à cet endroit.

3.8 ZONES DE VÉGÉTATION TERRESTRE ET BIODIVERSITÉ

Les gradients thermiques extrêmes de l'Arctique font que les changements de température y entraîneront probablement une réaction rapide et importante des communautés végétales. La poursuite de la hausse des températures entraînera une augmentation de la productivité, une plus grande abondance et une expansion vers le nord de l'aire de répartition d'espèces actuellement répandues d'herbes, de carex et de plantes à fleurs, comme *Carex bigelowii/arctisibirica, C. stans, Dryas octopetala/punctata, Cassiope tetragonal* et la mousse *Tomentypnum nitens*. Par contre, on assistera probablement à un rétrécissement de la niche écologique des espèces trouvées exclusivement (hyperarctiques; p. ex., des herbes – *Poa abbreviate*) ou principalement (eurarctiques; p. ex., le saule arctique – *Salix polaris*) aux plus hautes latitudes (Callaghan *et al.*, 2005).

La latitude et la quantité de lumière limitent, à l'heure actuelle, la répartition de certaines espèces végétales, qui ne seront pas en mesure de migrer vers le nord malgré la hausse des températures. Pour prévoir la réaction du système entier au climat en évolution, il faut également tenir compte : 1) de l'importance des interactions entre carbone et éléments nutritifs; 2) des interactions entre les cycles du carbone et des éléments nutritifs et la température, l'eau et la couverture nivale; 3) de l'importance des pertes de carbone organique et inorganique dissous dans l'eau du sol; 4) de l'ampleur et du rôle des processus hivernaux. Les effets cumulés du changement climatique sur ces facteurs entraîneront probablement l'apparition de nouvelles phytocénoses, avec des structures et des compositions taxinomiques différentes (Callaghan *et al.*, 2005).

Pour le siècle actuel, les projections des modèles végétaux indiquent que la forêt boréale remplacera, selon l'endroit, de 11 à 50 p. 100 de la toundra arctique (Harding *et al.*, 2002; Skre *et al.*, 2002). Cependant, des constatations récentes sur la latitude de la limite des arbres révèlent un déplacement vers le sud, ce qui semble indiquer qu'il est peu probable qu'il se produise un déplacement vers le nord basé sur le seul fait d'une évolution des conditions climatiques (Callaghan *et al.*, 2005). L'augmentation des perturbations, comme les proliférations de ravageurs et les feux de forêt, aura un effet localisé sur le sens du déplacement de la limite des arbres. En général, celle-ci réagira de façon différente selon l'ampleur des changements de température et l'évolution des précipitations, de l'état du pergélisol, de la composition des forêts et de l'utilisation des terres.

3.9 ÉCOSYSTÈMES DULCICOLES

Le changement climatique aura un effet sur la structure et la fonction des écosystèmes dulcicoles de l'Arctique. Les caractéristiques des communautés et des écosystèmes, notamment la diversité des espèces, la biodiversité, l'aire de répartition et la distribution, seront touchées par l'évolution des paramètres physiques et chimiques du milieu, ce qui entraînera des transformations des structures du réseau trophique et des niveaux de production (Rouse *et al.*, 1997; Vincent et Hobbie, 2000; Poff *et al.*, 2002; Wrona *et al.*, 2006a).

La piscifaune dulcicole du Nord canadien est formée d'environ 35 espèces de poissons, auxquelles s'ajoutent 15 espèces anadromes (Richardson *et al.*, 2001; Evans *et al.*, 2002; Coad et Reist, 2004; Reist *et al.*, 2006b). Les écosystèmes aquatiques du Nord se caractérisent par une faible productivité biologique, entre autres à cause des faibles intrants énergétiques. La biologie du biote aquatique est peu connue, surtout en ce qui a trait à la compréhension de ses rapports avec les facteurs climatiques et les réactions structurelles et fonctionnelles des écosystèmes (Wrona *et al.*, 2006a). Bien que de grandes incertitudes persistent quant aux réactions propres des espèces et des systèmes, il est probable que des espèces adaptées à l'Arctique disparaîtront de certaines régions quand les conditions du milieu commenceront à dépasser leur seuil de tolérance physiologique ou leur optimum écologique. Les espèces les plus vulnérables sont celles dont la niche climatique est la plus restreinte. Même si l'on ne prévoit pas de disparitions d'espèces arctiques à la grandeur de leur aire de répartition, certaines d'entre elles seront marginalisées géographiquement ou écologiquement (Wrona *et al.*, 2006b).

Un climat en évolution entraînera aussi une transformation des aires de répartition géographique des espèces dulcicoles en raison de la perte des habitats qui conviennent le mieux aux espèces « indigènes » de l'Arctique et de l'expansion vers le nord d'espèces plus méridionales (Wrona *et al.*, 2006b). D'après des indices relevés par des trappeurs dans le delta des rivières de la Paix et Athabasca, dans le réseau du Mackenzie, le développement de la végétation aquatique entraînera probablement une plus grande abondance du rat musqué dans les lacs, les étangs et les terres humides des régions septentrionales (Thorpe, 1986). Les répercussions et les changements auxquels on peut s'attendre au sein des espèces marines sont couverts à la section 4.8.

4 RÉPERCUSSIONS SUR LE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE ET SUR L'ADAPTATION DE SECTEURS CLÉS

4.1 AMÉNAGEMENTS HYDROÉLECTRIQUES

La demande d'électricité augmente dans les trois territoires à cause de l'accroissement de la population et du développement de l'industrie lourde, comme les mines de diamants des Territoires du Nord-Ouest et du Nunavut. Les sources d'énergie renouvelables (soleil, vent, bois et eau chaude souterraine) pourraient aider à répondre à une partie de l'augmentation de la demande, et les agences des gouvernements territoriaux ont affirmé leur engagement vis-à-vis de la mise en valeur accrue de tels approvisionnements. Le Yukon et les Territoires du Nord-Ouest dépendent déjà considérablement de la production hydroélectrique avec sept grands barrages (de plus de 10 m de hauteur) hydroélectriques (Association canadienne des barrages, 2003) auxquels vient s'ajouter toute une gamme d'installations hydroélectriques, souvent privées, de plus petite taille. La poursuite de l'expansion de ces installations hydroélectriques de petite taille continue de faire l'objet de discussions, mais ce sont encore les principales rivières nordiques qui présentent le plus grand intérêt quant à leur potentiel énergétique (Prowse *et al.*, 2004).

L'évolution du climat touchera à la fois la capacité et l'activité des centrales hydroélectriques actuelles et à venir, et la demande d'électricité. Les augmentations prévues de l'écoulement hivernal causées par l'eau de pluie et la fonte de la neige en été entraîneront une baisse du stockage de la neige en hiver. On devra peut-être compenser cette perte de stockage naturel en augmentant la capacité des réservoirs des installations actuelles et à venir. Dans certains sites, on pourra y arriver en augmentant la hauteur du barrage de rétention et, donc, la superficie et le volume de stockage. Aux endroits où le paysage (à cause d'un faible relief, par exemple) ou le mode d'exploitation (dans le cas des centrales au fil de l'eau, par exemple) rend cette solution impossible, il faudra peut-être construire de nouveaux réservoirs ou de nouvelles centrales à d'autres endroits. La perte graduelle de la contribution aux eaux de fonte que représentent l'ablation et le retrait des glaciers devra également être prise en considération à l'avenir lors du calcul de la capacité.

Le changement de l'ampleur des débits et de leur répartition saisonnière exigera de porter une attention accrue à la sécurité des barrages (World Commission on Dams, 2000). Il faudra notamment redéfinir la crue de projet (Inflow Design Flood, ou IDF; volume, pic, durée, forme et rythme), qui correspond à l'heure actuelle à la crue la plus importante pour laquelle sont conçus un barrage et ses installations (Zielinski, 2001). On juge déjà, par exemple, qu'il sera nécessaire de réévaluer les crues de projet des installations de la rivière Snare (Bruce *et al.*, 2000). Les changements dans le régime de la glace de rivière modifieront les risques d'embâcles en aval (Prowse et Beltaos, 2002). Toutefois, une évaluation plus détaillée des risques encourus par les centrales hydroélectriques à cause du changement climatique nécessitera l'élaboration de modèles hydrologiques capables de prédire le débit dans des régions nordiques non équipées de débitmètres (p. ex., Spence *et al.*, 2005).

4.2 PÉTROLE ET GAZ NATUREL

L'industrie pétrolière et gazière implique des activités d'exploration, d'extraction, de production et de livraison. Bien qu'il soit nécessaire de tenir compte des effets de l'évolution du climat sur toutes ces activités, ce sont les activités d'exploration qui sont les plus susceptibles d'être touchées. En 2006, on a mené des activités d'exploration dans la région de la plaine d'Eagle, au Yukon, et dans les régions des collines Cameron, de Fort Liard et du delta du Mackenzie, dans les Territoires du Nord-Ouest. Certaines des réserves les plus importantes se trouvent dans l'archipel Arctique canadien (p. ex., Drummond, 2006), et la diminution projetée de la couverture de glace de mer pourrait faire de cette région le siège d'activités d'exploration importantes.

La fonte du pergélisol et les changements qui surviendront dans la couverture nivale rendront nécessaires l'utilisation de véhicules à faible impact et la réorganisation du calendrier des activités d'exploration. La difficulté de prévoir le temps en hiver et l'état précaire du réseau de routes de glace feront en sorte qu'il faudra faire preuve de plus de flexibilité dans l'établissement du calendrier des activités d'exploration et d'extraction. Toutefois, c'est peut-être dans l'utilisation de bassins souterrains pour le stockage des résidus de forage que l'impact de l'évolution du climat sur les activités d'exploration se fera le plus sentir. L'utilisation de tels bassins exige la présence de pergélisol pour empêcher le mouvement souterrain des résidus (French, 1980; Dyke 2001). La hausse de la température du sol, que peuvent entraîner l'élévation des températures ambiantes et les changements dans l'épaisseur de la couverture nivale (Jenkins *et al.*, 2005), accroîtra le risque de transport des contaminants. Il faudra peut-être utiliser d'autres techniques de traitement des résidus de forage, comme des bassins à distance, des installations de traitement centralisées, l'injection des résidus ou leur transport en dehors des territoires (p. ex., Environmental Studies Research Funds, 2004), pour s'adapter au changement climatique.

Les activités de forage liées à l'exploration extracôtière, comme celles récemment réalisées par Devon Canada Corporation dans la mer de Beaufort, seront touchées par l'amenuisement de la couche de glace. Il faudra peut-être transformer les plates-formes de forage afin de les rendre plus résistantes aux vagues et aux ondes de tempête. Un moyen d'adaptation possible serait d'utiliser davantage de bateaux de forage (Croasdale, 1993).

Les usines de transformation, qui sont parmi les principales infrastructures de production, doivent maintenir leur intégrité structurelle pendant les multiples décennies que peut durer un projet. La conception des installations de production doit tenir compte des effets du changement climatique sur le pergélisol et, donc, sur la stabilité du sol. Les installations situées sur les lits des rivières ou sur les côtes, comme dans la région du delta du Mackenzie, doivent en outre tenir compte de facteurs comme la rupture de la glace sur les cours d'eau et les inondations causées par les embâcles, l'érosion des côtes et l'élévation du niveau de la mer. Une méthode de limitation des impacts récemment proposée consiste à placer les installations de production sur une barge plutôt que sur la terre.

Le pétrole et le gaz naturel sont acheminés vers les marchés à l'aide de pipelines dont la conception dépend des conditions du milieu et, donc, dans de nombreux cas, du climat. Il n'existe, à l'heure actuelle, dans le Nord, que trois petits pipelines, mais Imperial Oil Resources Ventures Limited Canada (Imperial Oil Resources Ventures Limited, 2004) a soumis, en 2004, dans le cadre du projet gazier du Mackenzie, une demande pour construire un gazoduc refroidi à haute pression de grand diamètre (30 po) afin d'acheminer vers le nord de l'Alberta le gaz naturel de trois champs gaziers du delta du Mackenzie. S'il est approuvé, le projet gazier du Mackenzie sera le développement industriel le plus important de l'Arctique canadien. La construction de pipelines dans les zones de pergélisol doit tenir compte d'un certain nombre de questions géotechniques, comme la modification du régime thermique du sol, du drainage et de la stabilité du sol, autant de conséquences possibles d'un réchauffement du climat survenant pendant la vie utile du projet (*voir* la section 4.4). L'expérience du pipeline de Norman Wells illustre bien la nécessité de surveiller de près la performance du pipeline et de son emprise afin de déterminer si des travaux doivent être réalisés pour maintenir l'intégrité du pipeline et en réduire au minimum les effets sur l'environnement (p. ex., Agra Earth and Environmental Limited et Nixon Geotech, 1999; Nixon et Burgess, 1999; Oswell, 2002). Il pourrait être nécessaire de faire des adaptations, comme l'ajout d'isolant ou l'utilisation de thermosiphons, pour refroidir artificiellement le pipeline, surtout sur les pentes sensibles.

4.3 MINES

À l'heure actuelle, les territoires nordiques comptent trois mines importantes en exploitation : deux mines de diamants dans les Territoires du Nord-Ouest et une autre au Nunavut. D'autres projets ont récemment été approuvés dans les trois territoires, ou en sont à un stade avancé de l'évaluation environnementale et du processus réglementaire. De plus, le développement de réseaux intégrés de transport terrestre et maritime en réaction à la diminution de la glace de mer stimulera probablement l'exploration et l'exploitation minières (*voir* l'étude de cas 1). Les principaux minéraux présents sont les diamants, l'or, le tungstène, l'argent, le plomb, le fer, le cuivre, le zinc, le nickel, le charbon, le tantale, le niobium, le lithium, le cobalt, le bismuth, l'uranium, le béryllium et le baryum.

Le ravitaillement des mines est généralement limité aux périodes hivernales et dépend de la disponibilité de routes de glace, alors que les activités d'exploration sont d'habitude restreintes à de courtes périodes estivales et dépendent de la disponibilité d'un accès aérien. Il faudrait tenir compte du changement climatique dans la conception, au cours de l'exploitation et durant la fermeture et l'abandon des mines; il s'agit là, en fait, d'un processus de planification appelé « conception en fonction de la fermeture » (Milburn et Brodie, 2003). En ce qui a trait à l'accès aux mines, la réduction appréhendée de la disponibilité des routes de glace pose un problème particulier qui pourrait obliger à construire des routes permanentes ou des systèmes de transport par eau (*voir* la section 4.5.2). L'impact du changement climatique sur le pergélisol et sur la stabilité du sol pose lui aussi problème (*voir* la section 4.4). La stabilité des haldes de stériles, des tas de rebuts et des bassins de confinement des résidus dépend souvent de la continuité du gel, qui empêche le rejet des contaminants et des produits de lixiviation (ou drainage rocheux acide) dans l'environnement (Mine Environmental Neutral Drainage Program, 1997).

4.4 INFRASTRUCTURES

Le pergélisol et la glace qu'il contient constituent un défi pour la conception, la construction et l'exploitation des infrastructures dans le Nord canadien (p. ex., Smith *et al.*, 2001a; Couture *et al.*, 2003) et dans toute la région circumpolaire (Instanes *et al.*, 2005). Bien que le sol gelé puisse fournir une assise solide aux infrastructures, le dégel du pergélisol se solde par une perte de solidité, du tassement et de l'instabilité. Le retrait de la végétation ou de la couverture organique servant d'isolant et les autres perturbations de la surface du sol qui accompagnent normalement la construction peuvent considérablement modifier le régime thermique du sol et entraîner le réchauffement et le dégel du pergélisol. La chaleur générée par les structures elles-mêmes (p. ex., les bâtiments chauffés et les canalisations souterraines d'eau, d'égouts ou d'hydrocarbures) peut ajouter au réchauffement. Dans les grandes structures, en particulier les structures linéaires, comme les pistes, les routes et les pipelines, qui couvrent de longues distances, les problèmes sont liés au tassement différentiel causé par les variations spatiales des caractéristiques du sol et de la teneur en glace, et par l'instabilité des pentes qui résulte du dégel du pergélisol.

Le réchauffement du climat présente un obstacle additionnel au développement et à la conception des infrastructures dans le Nord. À court terme (années), les effets de la perturbation du sol et de la construction seront beaucoup plus importants que ceux du réchauffement. Les effets d'un climat en évolution croissent avec l'échelle temporelle (décennies). Par exemple, la surveillance du pergélisol le long du couloir du pipeline de Norman Wells montre que l'effet du climat est très largement masqué par celui de la perturbation de la surface du sol causée par le défrichage de l'emprise (Burgess et Smith, 2003). C'était particulièrement le cas durant les cinq à dix années suivant la perturbation, quand le pergélisol réagissait à un réchauffement subit de la surface du sol de 2 à 4 °C et qu'une augmentation importante de la profondeur du dégel s'est produite. Par contre, les changements des régimes thermiques du sol associés au climat se font beaucoup plus lentement, car il faut plusieurs décennies pour que la surface du sol se réchauffe de 2 à 4 °C.

Le manque de précautions adéquates dans la conception technique des infrastructures en régions de pergélisol peut avoir des conséquences graves. C'est ce qui s'est produit au Yukon, dans les années 1890, quand on a construit la ville de Dawson sans tenir compte de la présence sous-jacente de sédiments alluvionnaires riches en glace (Hughes, 1989). Le dégel subséquent de la glace de sol et les tassements qu'il a entraînés ont endommagé des bâtiments, dont bon nombre sont devenus inhabitables, et ont rendu plusieurs routes impraticables. Jusqu'au milieu du XX^{e} siècle, on tenait peu compte de la présence de pergélisol. Cependant, les méthodes d'ingénierie actuelles ont pour objectif de réduire au minimum la perturbation du terrain et les effets sur les structures. De façon générale, on évite les sols sensibles au dégel et on conçoit les infrastructures de manière à préserver le pergélisol, à limiter le tassement et à composer avec ce dernier aux endroits où il se produit.

Auparavant, la conception technique ne tenait pas compte du réchauffement du climat, même pour des projets de grande envergure comme le pipeline de Norman Wells, dont la conception date du début des années 1980. Cependant, on reconnaît de plus en plus que le réchauffement climatique joue un rôle crucial au cours

ÉTUDE DE CAS 1

Perspectives de croissance du secteur minier et du secteur des transports

La réduction de la durée et de la superficie de la couverture de glace de mer causée par un climat en évolution ouvre de nouvelles perspectives pour le transport maritime dans l'Arctique canadien (*voir* l'étude de cas 2). Ces perspectives contribueront, pour leur part, à un accroissement de la compétitivité du développement actuel et prévu des ressources. L'expansion récente de projets importants de développement des gisements d'or, de métaux communs et de diamants dans la province géologique des Esclaves, qui chevauche les Territoires-du-Nord-Ouest et le Nunavut, de concert avec l'allongement prévu de la saison de navigation, rend beaucoup plus intéressante, sur le plan économique, la construction d'un port en eau profonde sur la côte nord du Canada. Idéalement, un tel port sera desservi par un réseau de routes permanentes qui le relieront aux sites miniers de l'intérieur.

Un projet actuellement à l'étude prévoit la construction, à l'extrémité sud de l'inlet Bathurst, au Nunavut, d'un port capable de recevoir des bateaux de 50 000 tonneaux et des barges de plus petite taille pour desservir les collectivités de l'ouest du Nunavut (Kitikmeot; *voir* la figure 14; Kunuk et Stevens, 2003). Ce port serait desservi par 211 km de routes permanentes en gravier reliant Bathurst à Contwoyto (*voir* la figure 14). Les retombées économiques d'activités minières de ce type pourraient être substantielles (Kunuk et Stevens, 2003). De plus, il est probable que la construction du port et des infrastructures routières entraînera un développement additionnel des gisements connus le long des voies de transport, attirera de nouvelles activités d'exploration et permettra de relier les collectivités du Nunavut à un système amélioré de transport maritime de l'océan Arctique.

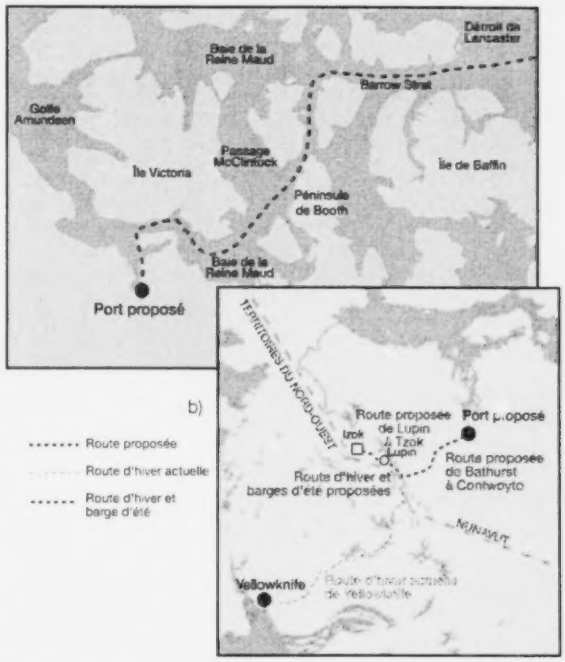


FIGURE 14 : Réseau de transport maritime et terrestre proposé dans le nord du Canada comprenant a) une route maritime vers un nouveau port dans l'inlet Bathurst et la date moyenne à laquelle la rupture des glaces a lieu; b) un réseau routier reliant le port aux emplacements du Nunavut où l'on procède à la mise en valeur des ressources (Bathurst Inlet Port and Road Joint Venture Ltd., 2003, 2007).

de toute la vie utile des grands projets d'infrastructure du Nord canadien, et on en tient compte dans la conception technique et dans les évaluations de l'impact environnemental de tels projets depuis la fin des années 1990. On a élaboré un outil d'évaluation fondé sur le risque qui permet de prendre en considération le changement climatique dans la conception technique des installations et de mesurer le niveau d'analyse nécessaire pour une installation donnée (Environnement Canada, 1998). L'analyse des conséquences d'une défaillance constitue un élément essentiel du processus d'évaluation. Ainsi, plus les conséquences possibles sont grandes (comme dans le cas d'une installation de confinement des déchets), plus l'analyse sera détaillée.

La conception de projets importants récents, comme les structures de rétention de l'eau ou de confinement des résidus miniers, les grands bâtiments et les infrastructures linéaires (pipelines et routes), tient compte du changement climatique. En fait, le processus canadien d'évaluation environnementale exige qu'on en tienne compte (p. ex., Lee, 2000; Comité fédéral-provincial-territorial sur le changement climatique et l'évaluation environnementale, 2003). Par exemple, il a été reconnu que le réchauffement pouvait causer problème pendant la vie utile de la mine de diamants Ekati, ouverte en 1998, et on a tenu compte de ses effets possibles dans la conception des barrages à noyau gelé des parcs à résidus de la mine (EBA Engineering Consultants Ltd., 1995). La conception technique et l'évaluation environnementale d'autres projets miniers récents aux Territoires du Nord-Ouest et au Nunavut, ainsi que du projet de gazoduc du Mackenzie, ont aussi tenu compte du réchauffement. La conception de grands bâtiments récents, comme le Centre de santé régional d'Inuvik, tient compte des effets du réchauffement sur le pergélisol (Hayley, 2004).

Dans le cas des structures construites avant la fin des années 1990, il est possible que le changement climatique soit la cause d'un accroissement de la profondeur du dégel et d'un tassement qui dépassent les prévisions originales, ce qui pourrait entraîner une hausse des coûts d'entretien et des travaux de réfection afin d'assurer l'intégrité de la structure. Les problèmes liés au tassement par dégel sont moins importants lorsque le sol est pauvre en glace, que les structures reposent sur le socle ou qu'elles sont construites sur des fondations profondes ou, dans le cas de structures plus petites, ajustables. Ce sont les structures munies de fondations peu profondes et construites sur des sols sensibles au dégel qui courent les risques les plus importants. Dans une étude-pilote réalisée à Norman Wells et à Tuktoyaktuk, aux Territoires du Nord-Ouest, on a rassemblé, dans des bases de données numériques, toutes les données géotechniques de forage disponibles et un inventaire des infrastructures et des types de fondations, afin d'identifier les

ÉTUDE DE CAS 1

Perspectives de croissance du secteur minier et du secteur des transports

La réduction de la durée et de la superficie de la couverture de glace de mer causée par un climat en évolution ouvre de nouvelles perspectives pour le transport maritime dans l'Arctique canadien (*voir* l'étude de cas 2). Ces perspectives contribueront, pour leur part, à un accroissement de la compétitivité du développement actuel et prévu des ressources. L'expansion récente de projets importants de développement des gisements d'or, de métaux communs et de diamants dans la province géologique des Esclaves, qui chevauche les Territoires-du-Nord-Ouest et le Nunavut, de concert avec l'allongement prévu de la saison de navigation, rend beaucoup plus intéressante, sur le plan économique, la construction d'un port en eau profonde sur la côte nord du Canada. Idéalement, un tel port sera desservi par un réseau de routes permanentes qui le relieront aux sites miniers de l'intérieur.

Un projet actuellement à l'étude prévoit la construction, à l'extrémité sud de l'inlet Bathurst, au Nunavut, d'un port capable de recevoir des bateaux de 50 000 tonneaux et des barges de plus petite taille pour desservir les collectivités de l'ouest du Nunavut (Kitikmeot; *voir* la figure 14; Kunuk et Stevens, 2003). Ce port serait desservi par 211 km de routes permanentes en gravier reliant Bathurst à Contwoyto (*voir* la figure 14). Les retombées économiques d'activités minières de ce type pourraient être substantielles (Kunuk et Stevens, 2003). De plus, il est probable que la construction du port et des infrastructures routières entraînera un développement additionnel des gisements connus le long des voies de transport, attirera de nouvelles activités d'exploration et permettra de relier les collectivités du Nunavut à un système amélioré de transport maritime de l'océan Arctique.

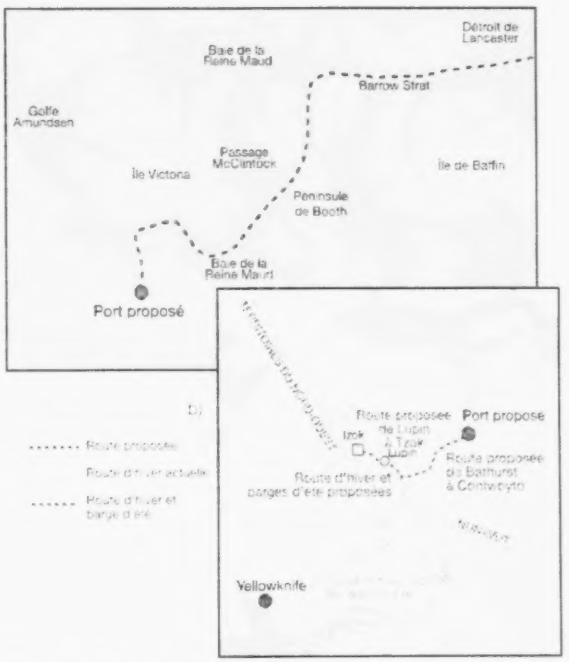


FIGURE 14 : Réseau de transport maritime et terrestre proposé dans le nord du Canada comprenant a) une route maritime vers un nouveau port dans l'inlet Bathurst et la date moyenne à laquelle la rupture des glaces a lieu, b) un réseau routier reliant le port aux emplacements du Nunavut où l'on procède à la mise en valeur des ressources (Bathurst Inlet Port and Road Joint Venture Ltd., 2003, 2007).

de toute la vie utile des grands projets d'infrastructure du Nord canadien, et on en tient compte dans la conception technique et dans les évaluations de l'impact environnemental de tels projets depuis la fin des années 1990. On a élaboré un outil d'évaluation fondé sur le risque qui permet de prendre en considération le changement climatique dans la conception technique des installations et de mesurer le niveau d'analyse nécessaire pour une installation donnée (Environnement Canada, 1998). L'analyse des conséquences d'une défaillance constitue un élément essentiel du processus d'évaluation. Ainsi, plus les conséquences possibles sont grandes (comme dans le cas d'une installation de confinement des déchets), plus l'analyse sera détaillée.

La conception de projets importants récents, comme les structures de rétention de l'eau ou de confinement des résidus miniers, les grands bâtiments et les infrastructures linéaires (pipelines et routes), tient compte du changement climatique. En fait, le processus canadien d'évaluation environnementale exige qu'on en tienne compte (p. ex., Lee, 2000; Comité fédéral-provincial-territorial sur le changement climatique et l'évaluation environnementale, 2003). Par exemple, il a été reconnu que le réchauffement pouvait causer problème pendant la vie utile de la mine de diamants Ekati, ouverte en 1998, et on a tenu compte de ses effets possibles dans la conception des barrages à noyau gelé des parcs à résidus de la mine (EBA Engineering Consultants Ltd., 1995). La conception technique et l'évaluation environnementale d'autres projets miniers récents aux Territoires du Nord-Ouest et au Nunavut, ainsi que du projet de gazoduc du Mackenzie, ont aussi tenu compte du réchauffement. La conception de grands bâtiments récents, comme le Centre de santé régional d'Inuvik, tient compte des effets du réchauffement sur le pergélisol (Hayley, 2004).

Dans le cas des structures construites avant la fin des années 1990, il est possible que le changement climatique soit la cause d'un accroissement de la profondeur du dégel et d'un tassement qui dépassent les prévisions originales, ce qui pourrait entraîner une hausse des coûts d'entretien et des travaux de réfection afin d'assurer l'intégrité de la structure. Les problèmes liés au tassement par dégel sont moins importants lorsque le sol est pauvre en glace, que les structures reposent sur le socle ou qu'elles sont construites sur des fondations profondes ou, dans le cas de structures plus petites, ajustables. Ce sont les structures munies de fondations peu profondes et construites sur des sols sensibles au dégel qui courent les risques les plus importants. Dans une étude-pilote réalisée à Norman Wells et à Tuktoyaktuk, aux Territoires du Nord-Ouest, on a rassemblé, dans des bases de données numériques, toutes les données géotechniques de forage disponibles et un inventaire des infrastructures et des types de fondations, afin d'identifier les

structures pour lesquelles le réchauffement pourrait causer des problèmes (Couture *et al.*, 2000, 2001; Chartrand *et al.*, 2002). On pourrait préparer des bases de données similaires pour les autres collectivités afin de les aider à planifier l'adaptation des structures existantes au changement climatique et de faciliter la planification de l'aménagement futur des sols.

Les structures les plus problématiques en situation de changement climatique sont celles qui doivent préserver leur intégrité pendant plusieurs décennies ou plusieurs siècles, ou dont la rupture peut avoir des conséquences graves. Les installations de confinement des déchets posent un problème particulier, puisque celles qui datent de plusieurs décennies n'ont pas été construites en fonction des températures actuelles plus clémentes et, de toute évidence, pas pour celles qu'on prévoit dans l'avenir. La rupture des barrages à noyau gelé de parcs à résidus à cause du dégel et du tassement différentiel, ou le dégel de tas de résidus à cause du réchauffement, pourrait entraîner le rejet de contaminants dans l'environnement et, donc, avoir un impact sur les écosystèmes et la santé humaine. Les sites plus anciens devront probablement faire l'objet de mesures correctrices, notamment l'utilisation possible de thermosiphons pour garder le sol gelé ou la modification de la couverture des tas de résidus pour faire en sorte que ces derniers demeurent enfermés dans le pergélisol (p. ex., BGC Engineering Ltd., 2003; Mine Environmental Neutral Drainage Program, 2004). Les nouvelles structures de confinement de la partie sud de la zone de pergélisol continu devront peut-être mettre à contribution les techniques utilisées à l'heure actuelle dans la zone de pergélisol discontinu ou dans les zones sans pergélisol, comme l'utilisation d'un revêtement intérieur imperméable.

L'adaptation des infrastructures nordiques au changement climatique reposera largement sur l'utilisation de techniques déjà en usage pour réduire les effets de la perturbation du sol. Figurent parmi ces techniques l'utilisation de fondations sur pilotis (qu'il faudra peut-être enfoncer plus profondément afin de faire face au réchauffement), l'isolation de la surface (qui pourra nécessiter des couches de gravier plus épaisses), l'enlèvement de la neige (afin de permettre au sol d'atteindre des températures plus basses en hiver), l'installation de fondations ajustables pour les petites structures et l'utilisation accrue de techniques de refroidissement artificiel afin de faire en sorte que le sol reste gelé (Couture *et al.*, 2003). On pourra également avoir recours à des techniques récentes, telles que les levées à convection d'air (Goering, 1998, 2003). Aux endroits où le pergélisol est mince, on pourra excaver la terre riche en glace et la remplacer par un matériau stable ou la faire dégeler intentionnellement en retirant la végétation et en retardant la construction de plusieurs années, jusqu'à ce que le pergélisol se soit complètement dégradé et que le terrain se soit stabilisé (*voir* Brown, 1970).

Enfin, les mesures d'adaptation adoptées devront comprendre des activités de surveillance afin : 1) d'évaluer la performance des infrastructures; 2) de déterminer si les changements dans l'état du pergélisol correspondent bien aux prévisions; et 3) de décider s'il y a lieu de mettre en place d'autres actions d'adaptation.

4.5 TRANSPORTS

4.5.1 Trafic maritime

Les multiples types de glace de mer et de glace de glacier présents dans les milieux marins de l'Arctique font courir aux transporteurs des risques particuliers qui viennent s'ajouter aux risques habituels associés aux ondes de tempête et aux hauts-fonds. De son côté, le transport maritime présente des risques potentiels pour l'environnement arctique, comme la possibilité de déversements de carburant ou de marchandises, la perturbation de la faune par la présence des bateaux et par le bruit sous-marin et aérien, et la déstabilisation de la glace fixe, qui peut nuire au déplacement des animaux et des humains. L'Arctique canadien compte trois routes de circulation maritime : vers le port de Churchill et les autres collectivités de la baie d'Hudson, en passant par le détroit d'Hudson; vers la mer de Beaufort, en passant par le détroit de Béring ou le fleuve Mackenzie; à travers l'archipel Arctique, par le passage du Nord-Ouest. Celui-ci relie la baie de Baffin à la mer de Beaufort en passant par le détroit de Lancaster et un certain nombre d'autres voies de navigation (*voir* la figure 15 et l'étude de cas 2), dont :

- la route du détroit du Vicomte de Melville et du détroit de M'Clure, qui est la plus engorgée par les glaces;
- la route du détroit du Vicomte de Melville et du détroit du Prince-de-Galles, qui est à peine moins difficile, mais serait la route de choix pour les navires à grand tirant d'eau; il s'agit de la route qu'ont empruntée le *SS Manhattan* et l'USCGC *Polar Star*;
- la route passant par l'inlet Prince-Régent, le détroit de Larsen, le détroit de Victoria et la baie du Couronnement, qui est la plus fréquentée par les brise-glaces de la Garde côtière canadienne, les bateaux commerciaux et les bateaux plus petits, même si elle comprend un passage assez étroit et difficile à travers le détroit de Bellot et que les eaux y sont généralement moins profondes; si l'inlet Prince-Régent est obstrué par les glaces, il est possible de rejoindre le détroit de Larsen en passant par le détroit de Pell; dans le cas de ces deux routes, les glaces les plus difficiles à franchir sont habituellement celles du détroit de Victoria.

Une autre route à travers l'archipel arctique, qui n'est cependant pas considérée comme faisant partie du passage du Nord-Ouest, passe par le détroit d'Hudson, le bassin Foxe, le golfe de Boothia et le détroit de Bellot vers le détroit de Larsen. Même si les forts courants de marée peuvent y présenter des difficultés de navigation dans le détroit de Fury et Hecla, les moindres quantités de glace du bassin Foxe et la plus courte distance de navigation entre le centre de l'Arctique et les régions situées plus au sud en font depuis quelques années une route intéressante (J. Falkingham, Environnement Canada, communication personnelle, 20 mars 2007).

Les bras de mer de l'Arctique sont empruntés pour le ravitaillement des populations, l'exportation des matières premières et des voyages scientifiques, des excursions touristiques ou des voyages visant à réaffirmer la souveraineté sur le territoire. Le ravitaillement des populations est la source du trafic le plus prévisible. Des navires de

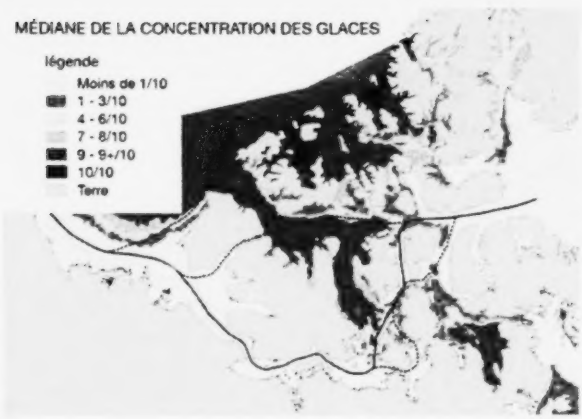


FIGURE 15 : Principales routes du passage du Nord-Ouest, superposées à la carte de la concentration médiane des glaces au 3 septembre (de 1971 à 2000). La couleur sert à identifier les concentrations de la glace, en dixièmes (gracieuseté de H. Melling, Pêches et Océans Canada).

haute mer assurent généralement le transport maritime dans l'Est, alors que les remorqueurs et les barges sont mieux adaptés aux eaux peu profondes de l'ouest de l'Arctique canadien. Les matières premières sont exportées à l'occasion depuis 25 ans. Bien que cette activité soit, à l'heure actuelle, abandonnée, on prévoit qu'au moins deux mines de minerai de fer à haute teneur pourraient commencer à produire et exporter du concentré d'ici quelques années. Le nombre d'expéditions scientifiques dans l'Arctique a augmenté de façon spectaculaire depuis 1990. Elles utilisent souvent des brise-glaces de la Garde côtière canadienne (GCC) qui, en même temps, remplissent d'autres rôles, comme l'aide à la navigation et l'affirmation d'une présence canadienne permanente. En 2004, dans le cadre du réseau ArcticNet de centres d'excellences (ArcticNet, 2007), on a équipé le NGCC *Amundsen* pour la recherche sur les effets du changement climatique dans les régions côtières de l'Arctique canadien. Ce navire emprunte maintenant le passage du Nord-Ouest de façon régulière. Les voyages touristiques dans le passage sont également de plus en plus courants. Si le transport commercial international constitue un autre usage possible de ces bras de mer, les voyages du pétrolier *Manhattan*, en 1969 et 1970, ont mis en lumière les défis que représentent la sécurité, la rentabilité et la prévisibilité du transport commercial dans le passage du Nord-Ouest.

L'Arctique canadien n'a jamais fait l'objet d'un trafic maritime à longueur d'année, et on pense qu'il en sera ainsi pendant les prochaines décennies (Wilson *et al.*, 2004). À l'heure actuelle, les activités de ravitaillement débutent en juillet et se terminent en octobre. Même durant cette période, elles nécessitent souvent l'intervention des brise-glaces de la Garde côtière canadienne. Le transport maritime est plus difficile en hiver qu'en été parce que la glace d'hiver est plus froide, donc plus solide, que la glace d'été. En hiver, la glace est également consolidée d'une rive à l'autre, sans fracture (chenal) pouvant simplifier le passage des bateaux. De plus, l'obscurité presque totale et le froid intense rendent la navigation hivernale extrêmement dangereuse. La glace pluriannuelle, qui ne ramollit pas beaucoup en été, représente en tout temps un danger sérieux pour les bateaux. Lorsqu'elle est fortement concentrée, seuls les brise-glaces les plus puissants peuvent espérer s'y frayer un passage, même en été. En hiver, elle est tout simplement impénétrable.

L'effet le plus évident de l'évolution du climat sur le transport maritime dans l'Arctique sera un allongement de la saison de navigation estivale, et on évalue que la durée des glaces sera raccourcie de 10 jours en 2020 et de 20 à 30 jours d'ici à 2080 (*voir* le tableau 8; Loeng *et al.*, 2005), mais on ne pense toutefois pas qu'il y ait un jour un hiver sans glace dans l'Arctique. Bien que l'allongement de la saison de navigation semble bénéfique, les conditions de la glace dans toutes les régions de l'Arctique canadien varient fortement d'une année à l'autre, et on ne croit pas que cela changera.

Les tendances futures de l'environnement de glace de mer dans le nord du Canada seront probablement différentes de celles de l'Arctique dans son entier, présentées à la section 3.1. La présence persistante et préférentielle de la glace pluriannuelle dans la partie canadienne de l'Arctique (Rigor et Wallace, 2004) représentera probablement un défi pour le transport maritime nordique pendant encore plusieurs décennies au moins. À l'heure actuelle, la plus grande partie de la couverture de glace de l'archipel Arctique canadien est consolidée pendant dix mois par année, et elle dérive lentement de l'océan Arctique vers le passage du Nord-Ouest, au sud (Melling, 2002). L'allongement de la saison de dégel entraînera celui de la période de fragilité de la banquise, ce qui fera accélérer le déplacement de la glace pluriannuelle de l'océan Arctique vers le passage du Nord-Ouest, en passant par l'archipel Arctique. À cause de ce déplacement, le transport maritime dans le passage du Nord-Ouest restera au moins aussi dangereux qu'aujourd'hui, tant qu'il y aura un apport de glace en provenance de l'océan Arctique.

La baie d'Hudson et la mer de Beaufort, en raison de leurs régimes de glaces très différents, connaîtront probablement une augmentation des passages de grands bâtiments. L'allongement de la saison de navigation estivale encouragera probablement le transport par le port de Churchill, dans la baie d'Hudson, l'exploration pétrolière extracôtière dans la mer de Beaufort, ainsi que le transport des hydrocarbures par de grands bâtiments vers l'ouest et à travers le détroit de Béring. L'augmentation du déplacement causé par les vents fera croître, pour le trafic par barges, les infrastructures côtières et les petits bateaux utilisés par les résidents du Nord, les risques associés aux vagues et aux ondes de tempête.
L'augmentation du trafic maritime et de certains dangers accroîtra les besoins :

- de cartes nautiques à jour;
- de prévisions météorologiques maritimes, y compris sur les vagues et les ondes de tempête;
- de surveillance des glaces et de prévision de leur mouvement;
- de services de brise-glaces et de capacités de recherche et de sauvetage;
- de surveillance et de contrôle du trafic maritime;
- d'installations côtières pour le ravitaillement en carburant et le chargement des marchandises;

ÉTUDE DE CAS 2

L'avenir du passage du Nord-Ouest

Le passage du Nord-Ouest est une série de sept grandes voies de passage entre les îles de l'archipel Arctique canadien (*voir* la figure 15). Depuis 20 ans, son avenir fait l'objet de nombreux débats, surtout parce qu'on prévoit qu'il sera éventuellement moins encombré par les glaces qu'aujourd'hui. Depuis longtemps, la glace de mer pluriannuelle entre dans l'archipel par les petits chenaux situés le long du flanc nord-ouest des îles de la Reine-Élisabeth et se développe sur place, dans le détroit du Vicomte de Melville, pour être ensuite transportée vers l'est et vers l'ouest (*voir* la figure 15; Melling, 2002). Dans les années de forte glace, la banquise pluriannuelle s'étend, vers le sud, jusqu'à la péninsule de Tuktoyaktuk.

Le fait que le passage du Nord-Ouest soit libre de glace présenterait un avantage économique considérable pour les compagnies de transport maritime, puisqu'elles pourraient ainsi éviter de passer par le canal de Panama et donc raccourcir d'environ 7 000 km le voyage entre Tokyo et Londres. Il ouvrirait aussi la voie à des navires qui dépassent les dimensions maximales des systèmes de canaux et qui doivent, par exemple, passer par le cap Horn. La possibilité de faire passer même des superpétroliers a été démontrée en 1969, lorsque le SS *Manhattan* (modifié de manière à pouvoir briser les glaces) a réussi à relier les champs pétrolifères de Prudhoe Bay et la côte est des États-Unis. Un autre avantage du passage du Nord-Ouest est qu'il est moins touché par les tempêtes que les routes de transport du Pacifique, comme l'a démontré, en 1999, le remorquage d'une cale sèche d'ouest en est par cette voie, de Vladivostok, en Russie, jusqu'aux Bermudes (Huebert, 2001).

Une autre possibilité de passage à travers l'Arctique, la route côtière du Nord, au large de l'Eurasie, devrait être ouverte avant le passage du Nord-Ouest puisque ce qui reste de sa banquise a tendance à se déplacer vers l'Amérique du Nord. De plus, en raison de la grande variabilité des conditions de la glace, la circulation par le passage du Nord-Ouest restera dangereuse même pendant les étés les plus chauds. Il se peut que ces dangers contribuent à réduire l'intérêt que présente le passage du Nord-Ouest pour le transport commercial (p. ex., Griffiths, 2003).

Même si les différends internationaux sur les revendications territoriales du Canada dans les terres et les îles de l'archipel Arctique se sont pour la plupart réglés dans les années 1930, le passage du Nord-Ouest fait toujours l'objet de discussions internationales. Les deux vues divergentes sont les suivantes : 1) le passage du Nord-Ouest fait partie des « eaux intérieures historiques » du Canada puisqu'il se trouve à l'intérieur des lignes de base droites de l'archipel, conférant ainsi au Canada l'autorité d'agir librement en ce qui a trait à la mise en place de contrôles et de conditions visant ses intérêts en matière de sécurité, d'environnement et de populations inuites, et 2) le passage du Nord-Ouest est un détroit international qui traverse les eaux territoriales canadiennes et, donc, le droit d'imposer des règlements est sujet à certaines restrictions. Comme l'a rappelé Pharand (2007), le Canada a exercé son autorité sur le transport maritime dans le passage en adoptant un régime portant sur le transport arctique qui comporte plusieurs lois et règlements (18 dans le cas des bateaux à passagers), y compris la plus ancienne de ces lois, soit la *Loi sur la prévention de la pollution des eaux arctiques* de 1970. Le Canada a dirigé les efforts en vue d'inclure l'Article 234, à savoir l'« exception arctique », dans la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer de 1982. Cette exception permet aux états côtiers d'imposer des lois contre la pollution marine jusqu'à 200 milles marins des côtes quand la présence de glace pendant presque toute l'année rend la navigation dangereuse (Charron, 2005; Barber *et al.*, 2006) et rend ainsi légitime l'autorité du Canada de faire respecter un régime antipollution très sévère. Au fil de l'évolution du droit international, le Canada a également modifié une de ses lois afin d'étendre la définition des eaux territoriales (et donc les droits côtiers de l'État) de 3 à 12 milles marins (Killaby, 2006). Ce détail revêt une importance particulière, puisque le point le plus étroit du passage du Nord-Ouest a moins de 24 milles marins de largeur (*voir* aussi Barber *et al.*, 2006).

Tant que les glaces rendront la navigation commerciale dangereuse et peu intéressante, aucun pays n'aura d'intérêt à contester la position du Canada. Toutefois, il se peut que l'évolution du climat et les modifications qu'elle causera aux régimes de la glace de mer fassent augmenter les pressions visant à désigner le passage du Nord-Ouest comme un détroit international. L'augmentation du trafic maritime dans le passage du Nord-Ouest imposera vraisemblablement au Canada et aux habitants du Nord toute une série de problèmes additionnels qu'ils devront surmonter, comme l'utilisation des côtes septentrionales pour des activités illégales (la contrebande, par exemple), la propagation d'espèces et de maladies exotiques et l'augmentation du nombre d'accidents maritimes et, donc, des risques de pollution (p. ex., Kelmelis *et al.*, 2005). On pourra pallier ces problèmes par une surveillance policière accrue de l'Arctique et par une intensification de l'application des normes et des règlements sur l'environnement, ce qui, selon certains, contribuerait à renforcer les revendications du Canada quant à sa souveraineté sur le passage du Nord-Ouest (p. ex., Huebert, 2003; Charron, 2005; Barber *et al.*, 2006). La perte de superficie de la glace de mer et l'augmentation du trafic maritime auraient des effets néfastes importants sur le mode de vie traditionnel des habitants du Nord, mais elles leur permettraient aussi de diversifier leur économie en offrant des services liés au transport maritime. Certains croient que quelques collectivités, comme Tuktoyaktuk et Iqaluit, pourraient devenir d'importantes escales (Huebert, 2001), ce qui entraînerait pour elles des transformations socio-économiques considérables.

TABLEAU 8 : Sommaire de l'évolution projetée des conditions océaniques (Loeng *et al.*, 2005).

	2020	2050	2080
Glace de mer			
Durée	Raccourcie de 10 jours	Raccourcie de 15 à 20 jours	Raccourcie de 20 à 30 jours
Étendue hivernale	Réduction de 6 p. 100 à 10 p. 100	Réduction de 15p. 100 à 20 p. 100	Étendues libres de glace probables dans l'Extrême-Arctique (mer de Barents et peut-être bassin de Nansen)
Étendue estivale	Plates-formes probablement libres de glace	Réduction de 30 p. 100 à 50 p. 100 par rapport à aujourd'hui	Réduction de 50 p. 100 à 100 p. 100 par rapport à aujourd'hui
Exportation vers l'Atlantique Nord	Aucun changement	Début de la réduction	Fortement réduite
Type	Légère réduction de la glace pluriannuelle, surtout sur les plates-formes	Importante réduction de la glace pluriannuelle, disparue des plates-formes	Glace pluriannuelle rare ou complètement disparue
Glace de rive			
Type	Amincissement possible et recul dans les régions du sud	Amincissement probable et recul plus marqué dans les régions sud	Possibilité d'amincissement et de réduction de l'étendue dans toutes les zones marines de l'Arctique

- de navires conçus pour la glace capables de répondre aux nouvelles conditions de la mer et aux nouvelles cargaisons transportées (p. ex., barges, remorqueurs, pétroliers et vraquiers);
- d'équipes spécialisées dans le travail en milieu arctique.

On s'attend aussi à ce que le changement climatique transforme la nature des risques associés au trafic maritime dans de nombreuses régions de l'Arctique. Plutôt que d'avoir à affronter une vaste banquise, ce qui exige l'aide d'un brise-glace, les navires bénéficieront à l'avenir de meilleures conditions de navigation, marquées par de fréquents épisodes de poussée des glaces dans des détroits encombrés, par de faibles concentrations de glace pluriannuelle difficiles à détecter et par une variabilité extrême des conditions d'une année à l'autre. Les brise-glaces auront donc autant, sinon plus, de travail à accomplir afin de venir en aide à un transport maritime accru et couvrant un plus grand territoire.

4.5.2 Transport en eau douce

De par le passé, le transport en eaux libres sur les rivières et les lacs représentait le principal moyen d'acheminer les marchandises aux collectivités nordiques. On utilisait, par exemple, le bras principal et les principaux affluents des réseaux hydrographiques du Yukon et du Mackenzie. Le Mackenzie est encore un important système de transport en eau douce. Les marchandises (du carburant en vrac, de l'équipement et des marchandises diverses) proviennent du terminal ferroviaire de Hay River et sont transportées par des barges tirées par des remorqueurs jusqu'à Tuktoyaktuk, en passant par le Grand lac des Esclaves et différentes localités riveraines. À leur arrivée, les barges sont dételées et transportées par des remorqueurs de haute mer aussi loin vers l'est que Taloyoak, dans la péninsule de Boothia, et vers l'ouest, jusqu'à Barrow, en Alaska.

Le réchauffement du climat entraînera un allongement de la période pendant laquelle le fleuve est libre de glace, ce qui permettra aux barges de circuler sur le Mackenzie pendant plus longtemps que les quatre mois actuels (de la mi-juin à la mi-octobre). Lonergan *et al.* (1993), par exemple, ont prévu qu'une réduction de six à neuf semaines de la saison des glaces pourrait entraîner une augmentation de 50 p. 100 du transport par barges sur le Mackenzie. Toutefois, ceci n'est rien comparé à la croissance de 600 p. 100 du transport prévue pour les prochaines années à cause du projet gazier du Mackenzie, dans la région du delta (*voir* la section 4.2; Neudorf, 2005). Ces prévisions ne tiennent cependant pas compte du fait que les changements de débit liés au climat (*voir* Kerr, 1997; Blanken *et al.*, 2000; Rouse *et al.*, 2003) pourraient avoir un effet sur l'utilisation de barges à fond plat dans un réseau fluvial aux eaux déjà peu profondes, surtout à la fin de l'été, lorsque le niveau du lac et le débit du fleuve sont les plus faibles. La régularisation du débit en amont, un autre facteur agissant sur les faibles débits, a contribué, au cours des 50 dernières années, à rendre de plus en plus difficile la navigation sur le fleuve (p. ex., Gibson *et al.*, 2006).

Le dragage de certaines portions de la voie de navigation constitue peut-être une solution locale et à court terme au problème de la baisse du niveau de l'eau, mais il est peu probable qu'il s'agisse d'une mesure utilisable à long terme, la morphologie du lit du Mackenzie et des autres réseaux fluviaux du Nord se caractérisant par une transformation rapide (p. ex., Prowse, 2001). On pourrait utiliser la régularisation du débit en amont pour accroître les débits à la fin de l'été, mais ceci aurait un effet néfaste sur la production hydroélectrique. La solution la plus évidente serait d'étendre le réseau de routes utilisables en toutes saisons, mais la construction et l'entretien de routes de ce type dans les zones de pergélisol posent d'importants problèmes techniques (*voir* la section 4.4).

4.5.3 Routes d'hiver

Même si la glace des lacs et des rivières a longtemps servi de voie de transport naturelle et que l'ingénierie moderne a permis de mettre au point des techniques de construction et d'expansion de plus en plus perfectionnées pour les routes d'hiver, on ne dispose néanmoins que de peu de documentation scientifique au sujet de l'effet du climat sur ces systémes. Les renseignements les plus pertinents, même ceux ayant trait au réseau de routes d'hiver principal, ne se retrouvent que dans les rapports préparés par des experts-conseils ou des instances gouvernementales locales, ou encore dans des communiqués de presse. Depuis les années 1950, le réseau de ces routes s'est développé pour former une longue succession de franchissements privés et publics de lacs et de rivières qui permettent de relier les populations du Nord aux réseaux de routes utilisables en toutes saisons. Des routes et des ponts de glace construits et entretenus chaque hiver fournissent un moyen relativement peu coûteux de ravitailler les collectivités et les industries du Nord. Le secteur minier, en rapide expansion, dépend de routes de glace pour le transport de l'équipement lourd, des matériaux et du carburant essentiels à ses activités le reste de l'année. En outre, ces routes créent un réseau d'importance cruciale qui rend possibles le contact entre les collectivités et la poursuite des activités sociales et culturelles tout au long des mois d'hiver.

Les voies de transport sur glace sont peu nombreuses au Yukon (p. ex., le pont de glace de Dawson City, les chemins d'accès miniers et, parfois, une route de glace vers Old Crow); les principaux réseaux de routes de glace se trouvent en effet dans les Territoires-du-Nord-Ouest et au Nunavut. Le Nunavut ne possède d'ailleurs aucune grande route utilisable en toutes saisons. On trouve également d'importants réseaux de routes d'hiver dans les régions septentrionales de plusieurs provinces (*voir* les chapitres 6 et 7). La route d'hiver la plus longue, la « Tibbitt to Contwoyto Window Road » ou TCWR, relie Tibbitt à Contwoyto et s'étend sur 600 km, dont 495 km sur des lacs gelés (EBA Engineering Consultants Ltd., 2001). C'est la principale route de ravitaillement pour les mines de diamants Ekati et Diavik, pour la mine d'or Lupin (inactive à l'heure actuelle), pour les développements miniers de Snap Lake et de Jericho, et pour plusieurs autres projets d'exploration minière. Elle est actuellement exploitée par la « Winter Road Joint Venture », un partenariat privé regroupant BHP Billiton, Diavik Diamond Mines et Echo Bay Mines. Ces compagnies se divisent les coûts selon l'usage qu'elles font de la route, et les autres compagnies paient un certain montant par tonne par kilomètre. La TCWR est normalement utilisée deux mois par année, en février et en mars, et son coût annuel est d'environ 10 millions de dollars. Les camions y roulent jour et nuit, à les convois partent environ toutes les 20 minutes. De 1997 et 2003, la route a permis de faire transiter chaque année 8 000 camions pesant chacun 30 tonnes en moyenne, la capacité augmentant à mesure que la couche de glace s'épaississait. On prévoit que cette route conservera son importance économique pendant plusieurs années (*voir* la figure 16; EBA Engineering Consultants Ltd., 2001).

La principale route de glace du Nord canadien, qui assure en hiver un lien de 150 km entre Inuvik et Tuktoyaktuk, est construite et entretenue par le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest. On retrouve aussi, un peu partout dans les territoires nordiques, un grand nombre de petits ponts et routes de glace. Aux Territoires du Nord-Ouest, par exemple, le système routier public double presque de longueur en hiver (environ 1400 km au total). Les périodes d'utilisation varient selon l'endroit et l'année, mais elles s'étendent normalement de novembre et décembre à mars et avril.

Les méthodes de construction des routes de glace varient selon l'usage des routes; certaines sont réalisées en tandem avec des routes praticables l'hiver sur la terre ferme. Dans les réseaux de routes et de ponts les plus organisés, on améliore la force portante en retirant ou en compactant la neige afin d'en réduire l'effet isolant. On peut également atteindre rapidement l'épaisseur de glace désirée en inondant la surface ou en ayant recours à des techniques de nébulisation semblables à celles utilisées pour produire de la neige. Ces deux méthodes permettent de produire une glace plus épaisse que celle qui s'obtient normalement dans un climat donné. Des

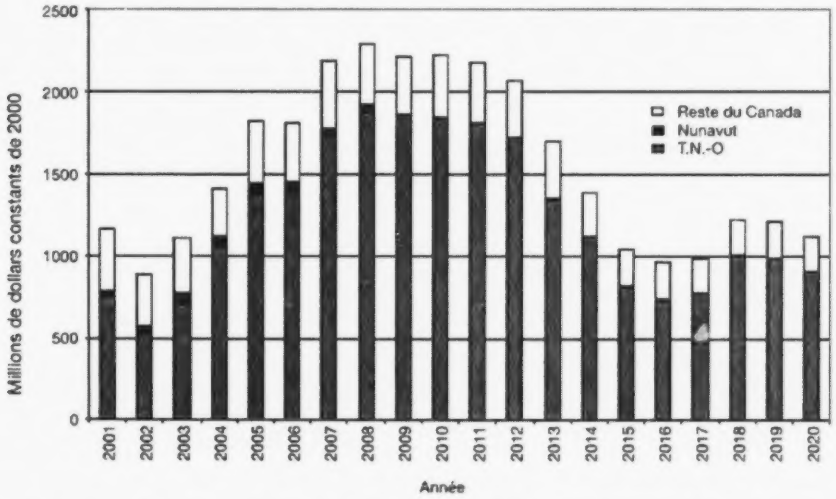


FIGURE 16 : Apport annuel de la route d'hiver de Tibbitt à Contwoyto et des projets connexes au produit intérieur brut des Territoires du Nord-Ouest (T.N.-O.), du Nunavut et du reste du Canada, de 2001 à 2020 (EBA Engineering Consultants Ltd., 2001).

FIGURE 17 : Camion traversant une route de glace en dégel, au passage de Liard Ferry, près de Fort Simpson, sur la rivière Liard, dans les Territoires du Nord-Ouest. (Terry D. Prowse).

dégels ponctuels peuvent réduire la praticabilité des surfaces, même lorsque la force portante est élevée (*voir* la figure 17). L'occurrence d'importantes chutes de neige au début de la saison peut retarder considérablement la formation de la glace et le développement de la force portante.

Bien qu'on conserve des données sur les dates d'ouverture et de fermeture des routes et des ponts de glace, aucune analyse des tendances qu'elles révèlent n'a encore été faite. Toutefois, des données d'observation pour la route de glace qui traverse le Mackenzie démontrent que la date moyenne d'ouverture pour les véhicules légers a été retardée de plus de trois semaines depuis 1996, alors qu'elle était restée relativement constante (entre le 8 et le 19 décembre) pendant les 30 années précédentes et même plus (Northern Climate Exchange, 2006). L'amincissement de la glace à cause du réchauffement climatique réduit le poids des convois pouvant circuler en sécurité. Au début, on pourra s'adapter à la situation en modifiant les méthodes de construction des routes de glace (ainsi que déjà mentionné). Aux endroits où la capacité de transport n'est pas encore utilisée au maximum, il sera possible de modifier les horaires de circulation afin de concentrer les convois dans le cœur de l'hiver, quand la glace est la plus épaisse. Il est également possible de transporter de lourds chargements sur la glace à l'aide de ballons. C'est ce qui a été suggéré pour le déplacement de l'équipement pour les champs pétrolifères de l'Alaska et de l'Arctique canadien (*voir* Prentice et Turriff, 2002). Cette combinaison de répercussions conjuguée à la diminution de la durée de la saison des routes de glace et de l'épaisseur de la glace rend plus difficile l'approvisionnement des collectivités nordiques et des sites industriels au cours des mois d'hiver.

Advenant le cas où certaines routes d'hiver deviendraient impraticables, il faudra trouver d'autres voies de transport. Là où existe un réseau de transport en eau libre, on pourra augmenter le nombre de barges. Dans les endroits enclavés, comme ceux desservis à l'heure actuelle par la TCWR, la construction de routes terrestres semble être la seule solution possible pour permettre de transporter chaque année ces énormes quantités de marchandises (*voir* l'étude de cas 1). La construction et l'entretien de routes permanentes coûtent nettement plus cher que ceux des routes d'hiver. Les coûts varient, mais Dore et Burton (2001) ont mentionné, par exemple, qu'il en coûte 85 000 $/km pour construire une route utilisable en toutes saisons dans le nord de l'Ontario, somme à laquelle on doit ajouter un montant variant entre 64 000 $ et 150 000 $ pour chaque pont à construire.

4.6 FORESTERIE

Des superficies importantes du Yukon (22,79 millions d'hectares) et des Territoires du Nord-Ouest (33,35 millions d'hectares) sont couvertes par la forêt boréale. Ensemble, ces zones représentent environ 13 p. 100 de la couverture forestière totale du Canada. Le bien-être culturel, spirituel et économique de plusieurs Premières nations dépend de la santé de l'écosystème forestier. La récolte d'aliments et l'exercice de pratiques culturelles sont deux utilisations importantes des terres boisées du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest. Moins de 30 p. 100 de la couverture forestière du Yukon est composée d'arbres d'une espèce et d'une taille propices à la récolte du bois (Government of Yukon, 2006) et la majorité des forêts de qualité marchande se trouvent au sud du 61e parallèle. Plus au nord, les forêts du Yukon sont plus touchées par les sols froids, le mauvais drainage et les feux dévastateurs.

Le Yukon se dirige vers une meilleure définition du cadre législatif et une réglementation accrue des pratiques en matière d'activités forestières, notamment l'élaboration d'un projet de loi sur la gestion des ressources forestières (*Yukon Forest Resources Stewardship Act*). Les compétences relatives à la gestion forestière sont partagées par le gouvernement du Yukon, les gouvernements des Premières nations et les conseils des ressources renouvelables. En décembre 2004, on a adopté au Yukon le premier plan de gestion stratégique des forêts, qui s'applique au territoire traditionnel de Champagne et Aishihik (*voir* l'étude de cas 3).

À cause des graves perturbations subies par les forêts du Yukon, l'industrie forestière s'y concentre à l'heure actuelle surtout sur les possibilités de récupération. En 2005, on a émis des permis de coupe pour plus de 300 000 m^3 afin de récupérer le bois dans des zones frappées par les incendies record de 2004 (p. ex., Green, 2004). Les incendies de 2004 ont également permis une abondante récolte de champignons, qui sont un produit forestier lucratif pendant les années qui suivent les feux de forêt. En 2006, on a publié une demande de propositions pour la coupe de 1 000 000 m^3 afin de récupérer le bois touché par l'infestation de dendroctone de l'épinette dans le territoire traditionnel de Champagne et Aishihik, dans le sud-ouest du Yukon (*voir* l'étude de cas 3). On a estimé qu'en 2004 la coupe du bois a fourni un apport de un million de dollars à l'économie du Yukon; ce montant annuel est appelé à croître en raison des opérations de récupération. Dans les Territoires du Nord-Ouest, en revanche, on a estimé que la contribution des produits forestiers à l'économie en 2004 n'a été que de 70 000 $ (*voir* le tableau 9).

Les indications de plus en plus nombreuses de la réaction de l'écologie locale au changement climatique récent révèlent à quel point les écosystèmes forestiers nordiques sont sensibles à ce dernier (Parmesean et Yohe, 2003; Juday *et al.*, 2005; Ogden, 2006; Scholze *et al.*, 2006). En effet, on peut déjà constater nombre des effets prévus d'un climat en évolution sur le secteur forestier nordique (*voir* le tableau 10). Il est à peu près certain que les forêts

ÉTUDE DE CAS 3

Jeter les bases de la gestion forestière dans un climat en évolution

On a de plus en plus d'indications que le changement climatique agit sur le territoire traditionnel de Champagne et Aishihik, dans le sud-ouest du Yukon. Au cours des 40 dernières années, on a assisté à une hausse de la température annuelle moyenne et à une réduction du nombre de périodes de froid intense en hiver. Les précipitations estivales moyennes ont également diminué. Ces hivers moins froids et ces étés plus chauds et plus secs ont entraîné, entre autres, une grave prolifération de dendroctone de l'épinette (*Dendroctonus rufipennis*) qui a causé la mort d'un très grand nombre d'épinettes blanches. Cette mortalité a également entraîné une perte de bois marchand et des modifications importantes de l'écologie de la région. La prolifération de dendroctone de l'épinette a également fait augmenter la quantité, l'inflammabilité et l'étendue des combustibles forestiers et, donc, les dangers d'incendie.

La lutte contre le dendroctone de l'épinette constitue l'objectif principal de la gestion forestière et des efforts de planification dans le sud-ouest du Yukon. En novembre 2004, le gouvernement du Yukon et la Première nation de Champagne et Aishihik ont approuvé le premier plan de gestion communautaire de la forêt, qui a comme priorités de gestion et de planification la réduction des dangers d'incendie, la régénération des forêts, les retombées économiques et la conservation de l'habitat faunique. Le plan comprend également un cadre de gestion adaptative qu'on considère comme une réponse essentielle au changement climatique.

Le Northern Climate Exchange a commencé à examiner les actions de gestion forestière susceptibles de réduire la vulnérabilité à l'évolution du climat des écosystèmes forestiers et des populations et économies qui en dépendent (Ogden, 2006). Ce groupe a organisé un atelier sur les transformations de la forêt boréale, dont les hôtes étaient la Première nation de Champagne et Aishihik et l'Alsek RenewableRresource Council (conseil des ressources renouvelables d'Alsek) et qui réunissait des résidents de l'endroit, des organismes gouvernementaux et de gestion, ainsi que des chercheurs. Les résultats de l'atelier ont servi de base à l'élaboration d'un cadre préliminaire de recherche visant à appuyer la prise de décisions en matière de gestion forestière face à l'évolution du climat dans le sud-ouest du Yukon.

La région a été désignée "secteur de projet spécial" par le Programme canadien de forêts modèles, ce qui a permis à la Première nation de Champagne et Aishihik d'accéder à une subvention en vue de réaliser des recherches additionnelles sur la durabilité des collectivités. On demandera à la population son avis sur l'applicabilité des différentes mesures locales de gestion adaptative, on organisera une activité de création de scénarios afin d'examiner l'efficacité des mesures de gestion forestière dans différentes situations climatiques et on incorporera le savoir traditionnel et local au cadre de gestion adaptative.

seront de plus en plus perturbées par des proliférations d'insectes causées par la poursuite du réchauffement (Juday *et al.*, 2005). L'infestation de dendroctone de l'épinette dans le sud-ouest du Yukon, qui a entraîné une mortalité généralisée de l'épinette blanche, est la plus importante et la plus intense des proliférations qui aient touché les arbres du Canada; elle constitue un excellent exemple de la réaction de l'écosystème au réchauffement récent (*voir* le tableau 11 et la figure 18; *voir également* l'étude de cas 3; Juday *et al.*, 2005). On prévoit également que le changement climatique entraînera une augmentation de la fréquence, de l'étendue et de la gravité des feux de forêt, contribuant ainsi à une réduction de l'intervalle moyen entre les feux, à une modification de la répartition des classes d'âge en faveur des arbres les plus jeunes, au déclenchement de modifications plus fréquentes des régimes de succession des forêts constituées en prédominance de conifères à celles à prédominance de feuillus et à une diminution de la quantité de carbone emmagasinée dans la forêt boréale (Flannigan *et al.*, 2000; Stocks *et al.*, 2000; Juday *et al.*, 2005; McCoy et Burn, 2005; Johnstone et Chapin, 2006).

Selon l'espèce, le type de site et la région, les températures plus élevées des dernières décennies ont soit accéléré, soit ralenti la croissance des arbres. Dans certaines régions touchées négativement, on a pu déterminer que le stress dû à la sécheresse était le principal coupable. Dans d'autres, le ralentissement demeure inexpliqué (Juday *et al.*, 2005). Le stress dû à la sécheresse entrave aussi le rétablissement des forêts d'épinettes après un incendie dans certaines régions du sud-ouest et du centre-sud du Yukon, régions très vulnérables au changement climatique si les tendances à des conditions plus sèches se maintiennent (Hogg et Wein, 2005). La plupart des projections indiquent que les conditions climatiques à venir limiteront très probablement la croissance, dans de vastes parties de l'Alaska et, probablement, de l'ouest de la forêt boréale du Canada, des types d'épinettes blanches exploitables commercialement et des types répandus d'épinettes noires (Barber *et al.*, 2000; Hogg et Wein, 2005; Juday et Barber, 2005; Juday *et al.*, 2005). Les changements de la productivité des forêts liés au climat auront probablement des répercussions importantes sur les collectivités qui dépendent de la forêt (Hauer *et al.*, 2001; Davidson *et al.*, 2003).

Les principes et méthodes de gestion durable des forêts incorporent déjà nombre des mesures qu'il faudra prendre pour faire face aux effets du changement climatique (Spittlehouse et Stewart, 2003). Lors d'une enquête menée auprès de spécialistes de la foresterie du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest au sujet des effets probables du changement climatique sur la durabilité du secteur forestier et sur les mesures d'adaptation possibles, 71 p. 100 des répondants ont été d'avis que les sept critères de la gestion durable des forêts[3] pourraient servir d'objectifs pour l'adaptation du secteur forestier au changement climatique (Ogden et Innes, 2007b). Les trois effets les plus souvent reconnus comme ayant déjà eu une incidence sur la durabilité sont les changements de l'intensité, de la gravité ou de l'étendue des proliférations d'insectes, les changements dans les phénomènes météorologiques extrêmes et les changements de l'intensité, de la gravité ou de l'étendue des feux de forêt (*voir* le tableau 12; Ogden et Innes, 2007b). Toutefois, plus de la moitié des répondants ont indiqué que les prix des produits de base, la

[3] Les critères identifiés en 1995 dans la déclaration de Santiago sont : 1) le maintien de la diversité biologique; 2) la préservation de la capacité de production des écosystèmes forestiers; 3) le maintien de la santé et de la vitalité des écosystèmes forestiers; 4) la conservation et le maintien des ressources pédologiques et hydriques; 5) le maintien de la contribution des forêts aux cycles planétaires du carbone; 6) le maintien et l'accroissement des avantages socio-économiques à long terme pour répondre aux besoins de la société; 7) le cadre juridique, institutionnel et économique pour la conservation et l'aménagement durable des forêts.

TABLEAU 9 : Profil du secteur forestier dans le Nord canadien (Ressources naturelles Canada, 2005).

	Canada	Territoire du Yukon	Territoires du Nord-Ouest	Nunavut
PROFIL				
Population[1]	32 100 000	31 227	42 944	29 6583
Superficie du terrain (ha)	979 100 000	48 490 000	128 120 000	200 600 000
Forêt et autres terres boisées	402 100 000	22 790 000	33 000 000	940 000
Parcs	26 500 000	Non disponible	13 363	Non disponible
RESSOURCES				
Propriété[2]				
Fédérale	16 p. 100	100 p. 100	100 p. 100	100 p. 100
Provinciale/territoriale	77 p. 100	0 p. 100	0 p. 100	0 p. 100
Privée	7 p. 100	0 p. 100	0 p. 100	0 p. 100
Type de forêts[2]				
Résineux	66 p. 100	79 p. 100	53 p. 100	52 p. 100
Feuillus	12 p. 100	2 p. 100	47 p. 100	48 p. 100
Mixte	22 p. 100	19 p. 100	0 p. 100	0 p. 100
Récolte potentielle (m^3)[3]	238 800 000	238 000	Sans objet	
Récolte (volume) de bois rond industriel (m^3)[3]	193 700 000	7 000	6 000	
Récolte (superficie) de bois rond industriel (ha)[3]	974 472	44	31	
Superficie plantée (ha)[4]	427 051	310	112	
Superficie ensemencée (ha)[4]	18 906	Non disponible	Non disponible	
Superficie défoliée par les insectes et mortalité des arbres attribuable au dendroctone (ha)[3]	19 200 000	41 640	Non disponible	
Nombre de feux[2]	6634	282	297	
Superficie brûlée (ha)[2]	3 300 000	1 800 000	515 621	
Industrie				
Valeur des exportations[2]	44 600 000 000 $	961 842 $	69 954 $	
Bois d'œuvre de résineux	24,71 p. 100	1,5 p. 100	1,.61 p. 100	
Principaux marchés à l'exportation[2]				
États-Unis	80 p. 100	100 p. 100	37,38 p. 100	
Union européenne	6 p. 100	0 p. 100	62,62 p. 100	
Japon	5 p. 100	0 p. 100	0 p. 100	

Source : Ressources naturelles Canada (2005); les données fournies proviennent de Statistique Canada.
[1] pour 2005 [2] pour 2004 [3] pour 2003 [4] pour 2002

TABLEAU 10 : Exemples d'impacts du changement climatique sur le secteur forestier dans le Nord (*extrait modifié tiré de* Lemmen et Warren, 2004).

Impacts biophysiques	Impacts socio-économiques
Changements dans la productivité des forêts	Changements dans la production de bois d'œuvre et de la valeur locative
Augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère	Introduction de politiques d'atténuation au moyen de crédits de carbone et de permis qui créent un marché pour le stockage du carbone
Augmentation des perturbations	Perte de produits forestiers et de biens non commerciaux
Déplacement des écozones vers le Nord	Changement de la valeur des terres et des options d'utilisation des terres
Changements du climat et des écosystèmes	Restructuration économique engendrant des tensions sociales et individuelles
Changements dans les écosystèmes et les espèces spécialisées	Changements dans les valeurs non commerciales
Changements dans les écosystèmes	Désintégration des parcs et des réserves naturelles, accroissement des conflits d'utilisation des terres

TABLEAU 11 : Effets du changement climatique sur le dendroctone de l'épinette (Juday *et al.*, 2005).

Incidence directe sur les populations d'insectes:	Deux hivers froids consécutifs abaissent le taux de survie des dendroctones de l'épinette
	Avec une température estivale anormalement élevée, les insectes arrivent à terminer leur cycle de vie en un an, ce qui provoque une très forte augmentation de la population
Incidence indirecte sur la résistance des arbres:	Le stress de sécheresse réduit la résistance des arbres aux attaques des dendroctones de l'épinette
La marque caractéristique du réchauffement climatique	Augmentation de la fréquence des proliférations d'insectes
	Élargissement des zones de mortalité des arbres durant les infestations
	Accroissement de l'intensité des attaques d'insectes et, par conséquent, du taux de mortalité des arbres dans les zones infestées

disponibilité du bois d'œuvre, les politiques commerciales, la réglementation environnementale et la possibilité d'obtenir le capital nécessaire ont actuellement une plus forte incidence négative sur la durabilité que le changement climatique (*voir* le tableau 13; Ogden et Innes, 2007b).

Même s'ils ne pensent pas que le changement climatique constitue le facteur qui a la plus forte incidence sur la durabilité du secteur forestier (Ogden et Innes, 2007b), les experts-forestiers du Nord s'adaptent déjà aux effets d'un climat en évolution, surtout en réaction à l'infestation de dendroctone de l'épinette dans le sud-ouest du Yukon (*voir* l'étude de cas 3; Alsek Renewable Resource Council, 2004). Parmi les mesures proactives d'adaptation possibles figurent la régénération ciblée, la sylviculture ou les stratégies de protection contre les modifications à long terme des régimes de perturbation de la forêt (Ohlson *et al.*, 2005). Une adaptation proactive a plus de chances d'éviter ou de réduire les dommages que des mesures réactionnelles (Easterling *et al.*, 2004). Le tableau 14 examine les avis des spécialistes sur l'importance des moyens d'adaptation (Ogden et Innes, 2007b) susceptibles de pouvoir rencontrer des objectifs de gestion forestière durable. Les

TABLEAU 12 : Proportion des répondants ayant déclaré que les impacts du changement climatique ci-dessous ont eu des effets très importants ou assez importants sur la durabilité du secteur forestier ou des collectivités qui dépendent des forêts dans les territoires du Nord (Ogden et Innes, 2007b).

Impact du changement climatique	Répondants (p. 100)
Intensité, de la gravité ou de l'ordre de grandeur des infestations d'insectes dans les forêts	66
Phénomènes météorologiques exceptionnels	47
Intensité, de la gravité ou de l'ordre de grandeur des feux de forêt	44
Mode de vie	34
Valeur des terres et des options d'utilisation des terres	31
Saison d'utilisation des routes d'hiver	31
Possibilités économiques	25
Bilan du carbone forestier	22
Phénologie	22
Production de bois d'œuvre	22
Abondance, déplacements et aires de répartition des espèces, y compris les espèces envahissantes	19
Type de couvert forestier	19
Croissance et de la productivité des forêts	16
Limite forestière	16
Disponibilité des produits forestiers non ligneux	9

spécialistes ont également identifié les domaines de recherche qu'ils estiment les plus utiles à la prise de décisions, soit les effets du changement climatique sur l'intensité, la gravité et l'étendue des proliférations d'insectes forestiers et des feux de forêt, et les incidences nettes sur la croissance et la productivité des forêts (Ogden et Innes, 2007b).

TABLEAU 13 : Proportion des répondants qui estiment que les facteurs suivants ont actuellement un effet négatif plus prononcé que le changement climatique sur la durabilité du secteur forestier ou des collectivités nordiques qui dépendent des forêts (Ogden et Innes, 2007b).

Incidence plus forte que celle du changement climatique sur la durabilité	Répondants (p. 100)
Prix des produits de base	56
Disponibilité du bois d'œuvre	53
Politiques commerciales	50
Règlements environnementaux	50
Capacité d'obtenir les fonds nécessaires	50
Compétitivité	47
Pétrole et gaz	41
Fragmentation de l'habitat	41
Participation et gouvernance autochtones	35
Participation du public à la gestion et à la planification des forêts	35
Minéraux	35
Tourisme	35
Santé et bien-être communautaires	35
Espèces envahissantes	29
Chômage	29
Contaminants	26
Participation aux modes de vie traditionnels	21
Disponibilité et salubrité des produits alimentaires traditionnels	18
Accessibilité des activités de loisirs	15
Appauvrissement de l'ozone	6

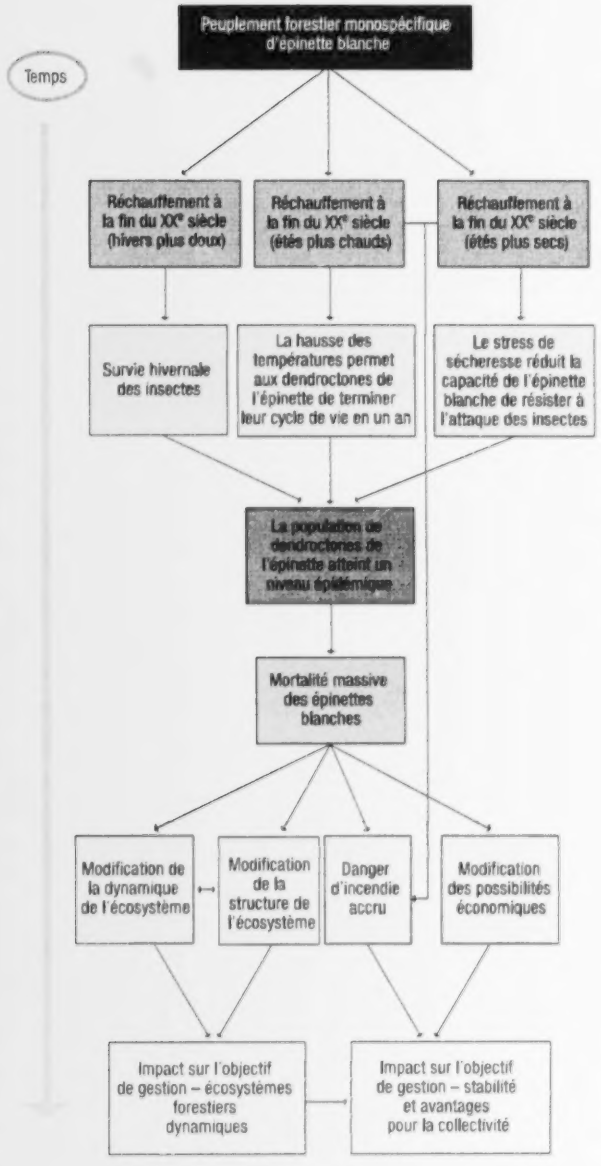


FIGURE 18 : Influence du réchauffement climatique sur les populations de dendroctone de l'épinette dans le sud-ouest du Yukon (Ogden, 2006).

TABLEAU 13

TABLEAU 14 : Mesures d'adaptation au changement climatique à envisager sur les plans stratégique et opérationnel pour atteindre les objectifs de gestion durable des forêts tels que définis par le Processus de Montréal (*Source* : Ogden et Innes, 2007a).

Objectifs d'adaptation	Maintien de la diversité biologique	Préservation de la capacité de production des écosystèmes forestiers	Maintien de la santé et de la vitalité des écosystèmes forestiers	Conservation et maintien des ressources pédologiques et hydriques
Mesures d'adaptation sur le plan stratégique	• Réduire la fragmentation de l'habitat et maintenir la connectivité • Préserver les types de forêts représentatifs de tous les gradients environnementaux dans des réserves • Protéger les refuges climatiques à plusieurs échelles • Repérer et protéger les groupes fonctionnels et les espèces clés • Maintenir les régimes d'incendie naturels • Prévoir des zones tampons pour rajuster les limites des réserves • Créer des réserves artificielles ou des arboretums pour préserver les espèces rares • Protéger les espèces les plus menacées *ex situ* • Élaborer un programme de gestion des gènes afin de préserver la diversité des patrimoines génétiques	• Pratiquer une foresterie de plantation intensive dans certains secteurs choisis afin de favoriser la croissance d'essences commerciales, surtout dans les régions où des accroissements de perturbations sont à prévoir • Améliorer les sols forestiers et atténuer les perturbations qui les touchent • Faciliter la régénération des arbres • Employer des techniques de contrôle de la végétation pour contrer la sécheresse • Planter des espèces génétiquement modifiées et déterminer les génotypes les plus appropriés • Améliorer la croissance de la forêt en fertilisant • Pratiquer une gestion active des ravageurs forestiers • Créer un sous-étage d'autres espèces ou génotypes si la régénération préexistante est inacceptable en tant que pépinière forestière • Éliminer de façon sélective les arbres dominés, endommagés ou de mauvaise qualité afin d'accroître la disponibilité des ressources pour les autres arbres (coupe précommerciale) • Abaisser l'âge d'exploitabilité et replanter afin d'accélérer l'établissement de types de forêt les plus adaptés possible	• Sélectionner en vue d'obtenir des génotypes spécifiquement résistants aux ravageurs et tolérants à divers stress et extrêmes climatiques • Réduire les stress non climatiques en gérant les impacts du tourisme, des activités de loisirs et du broutage, afin d'améliorer la capacité des écosystèmes à réagir au changement climatique • Réduire les stress non climatiques en réglementant les polluants atmosphériques, afin d'améliorer la capacité des écosystèmes à réagir au changement climatique • Réduire les stress non climatiques en restaurant les secteurs dégradés pour maintenir la diversité génétique et favoriser la santé des écosystèmes, afin d'améliorer la capacité des écosystèmes à réagir au changement climatique • Modifier les calendriers de récolte afin de récolter les peuplements les plus vulnérables aux proliférations d'insectes • Planter des génotypes tolérants à la sécheresse, aux insectes et (ou) aux maladies • Réduire les pertes dues aux maladies par des coupes d'assainissement qui ciblent les arbres infectés • Utiliser le brûlage dirigé pour réduire le risque d'incendie et la vulnérabilité des forêts aux proliférations d'insectes • Employer des techniques sylvicoles qui favorisent la productivité des forêts et la vigueur des peuplements (coupe partielle ou d'éclaircie) afin de réduire la susceptibilité aux attaques d'insectes • Raccourcir la période de rotation afin de réduire la période de vulnérabilité des peuplements aux insectes ravageurs et aux maladies et de faciliter le passage à des espèces plus appropriées	• Éviter de construire des routes dans des lieux propices aux glissements de terrain, là où l'augmentation des précipitations et la fonte du pergélisol risquent d'accroître le danger de glissement de talus • Améliorer les sols forestiers et atténuer les perturbations qui les touchent • Entretenir, mettre hors service et remettre en état les routes de façon à atténuer le ruissellement de sédiments dû à l'augmentation des précipitations et à la fonte du pergélisol • Atténuer les impacts que subissent l'infrastructure, le poisson et l'eau potable par suite du changement des périodes de débit et de volume de pointe dans les ruisseaux provoqué par la fonte hâtive ou accrue de la neige
Mesures d'adaptation sur le plan opérationnel	• Permettre aux forêts de se régénérer naturellement après des perturbations; privilégier la régénération naturelle si possible • Lutter contre les espèces envahissantes • Pratiquer une foresterie à faible intensité et empêcher la conversion en plantations • Faciliter les changements de la répartition des espèces en déplaçant celles-ci dans de nouvelles aires	• Limiter les espèces végétales susceptibles de profiter du changement climatique pour devenir plus compétitives • Assouplir les règles qui régissent le déplacement des semences d'un endroit à l'autre • Inclure des variables climatiques dans les modèles de croissance et de rendement afin d'obtenir des prévisions plus précises du développement futur des forêts • Concevoir et mettre sur pied des essais de longue durée sur des espèces ou des lots de semences multiples afin de vérifier le comportement des génotypes améliorés dans diverses combinaisons de climats et de latitudes		

TABLEAU 14: (suite)

Objectifs d'adaptation	Maintien de la contribution des forêts aux cycles planétaires du carbone	Maintien et accroissement des avantages socio-économiques à long terme	Cadre juridique, institutionnel et économique pour la conservation et l'aménagement durable des forêts
Mesures d'adaptation sur le plan stratégique	• Atténuer le changement climatique par la gestion du carbone forestier • Augmenter la superficie de forêt par le boisement • Réduire la dégradation des forêts et éviter le déboisement • Améliorer les sols forestiers et atténuer les perturbations qui les touchent	• Prévoir la variabilité et le changement, et évaluer la vulnérabilité à l'échelle régionale • Améliorer la capacité d'évaluation intégrée de la vulnérabilité des systèmes à diverses échelles • Favoriser l'apprentissage et l'innovation, et faire des recherches afin de déterminer le moment et le lieu appropriés pour mettre en œuvre des réponses adaptatives • Diversifier l'économie forestière (p. ex., explorer les marchés des produits de bois mort et des produits à valeur ajoutée) • Diversifier l'économie régionale (produits non forestiers) • Favoriser le dialogue entre les parties intéressées afin d'établir les priorités en matière de mesures d'adaptation au climat dans le secteur forestier • Élaborer la technologie nécessaire pour utiliser de nouvelles qualités de bois et compositions en espèces; modifier la technologie de transformation du bois • Choisir la composition en espèces à privilégier dans l'avenir; établir des objectifs pour la forêt de demain, compte tenu du changement climatique	• Établir des tenures de longue durée • Assouplir les règles qui régissent le déplacement des semences d'un endroit à l'autre • Offrir des mesures incitatives et éliminer les obstacles afin d'améliorer les puits de carbone et de réduire les émissions de gaz à effet de serre • Favoriser les activités de gestion des forêts susceptibles d'être incluses dans le système d'échange de crédits de carbone (tel que décrit au paragraphe 3.4 du Protocole de Kyoto) • Pratiquer une gestion adaptative, soit une méthode de gestion qui combine de façon rigoureuse la gestion, la recherche, la surveillance et les moyens nécessaires pour modifier les pratiques afin d'en tirer des renseignements probants et de modifier les activités de gestion en fonction de l'expérience acquise • Mesurer et surveiller les indicateurs du changement climatique et de la gestion forestière durable, et en faire rapport, afin de déterminer l'état des forêts et de détecter le moment où on atteint les seuils critiques • Évaluer le caractère adéquat des réseaux de surveillance environnementale et biologique actuellement en place pour observer les effets du changement climatique sur les écosystèmes forestiers; déceler les failles et les lacunes de ces réseaux et y apporter des solutions • Soutenir la recherche sur le changement climatique, les impacts du climat et l'adaptation au climat • Soutenir le partage des connaissances, le transfert de technologie, le renforcement des capacités et l'échange d'information sur le changement climatique
Mesures d'adaptation sur le plan opérationnel	• **Permettre aux forêts de se regénérer naturellement à la suite d'une perturbation, favorisant la regénération naturelle autant que possible** • **Pratiquer le contrôle des espèces envahissantes** • **Adopter des pratiques de gestion forestière à faible intensité et éviter la conversion des espaces en plantations** • **Soutenir les modifications de répartition des espèces en les introduisant dans de nouvelles régions**	• Inclure la gestion des risques dans les règles de gestion et les plans forestiers; améliorer la capacité de gestion des risques • Évaluer les émissions de gaz à effet de serre produites par les activités internes • Sensibiliser les intervenants aux effets potentiels du changement climatique sur le régime des feux et encourager toute mesure proactive de gestion des combustibles et de protection communautaire • **Mettre en œuvre des techniques de type « firesmart » pour protéger les zones de grande valeur des incendies** • **Améliorer les récoltes de bois en réexploitant les peuplements endommagés par le feu ou les insectes**	• Incorporer les nouvelles connaissances sur l'avenir du climat et de la vulnérabilité des forêts aux plans et politiques de gestion des forêts • Solliciter la participation du public à l'évaluation des possibilités d'adaptation de la gestion des forêts

Sources énumérées dans Ogden et Innes, 2007a.

4.7 PÊCHES

On estime à environ 240 espèces (190 marines, environ 15 anadromes et environ 35 dulcicoles) la piscifaune nordique du Canada (Richardson *et al.*, 2001; Evans *et al.*, 2002; Coad et Reist, 2004). En outre, il est possible que les eaux nordiques, particulièrement les eaux de mer, recèlent d'autres espèces de poissons non recensées, faute d'échantillonnage adéquat. Les régions voisines abritent également des espèces qui peuvent à l'occasion se retrouver dans le Nord. Les pêches nordiques ciblent relativement peu d'espèces endémiques (environ 11 espèces), en majorité des salmonidés (p. ex., le saumon, l'omble chevalier, le corégone et, l'ombre) capturés en eaux douces, estuariennes ou littorales. On pêche environ cinq espèces d'eau douce (p. ex., la lotte, le grand brochet, des meuniers et des perches). Un nombre encore plus restreint, soit deux ou trois, d'espèces de poissons de mer (dont le flétan noir et la morue polaire) et trois à six espèces

TABLEAU 14 : Mesures d'adaptation au changement climatique à envisager sur les plans stratégique et opérationnel pour atteindre les objectifs de gestion durable des forêts tels que définis par le Processus de Montréal (*Source* : Ogden et Innes, 2007a).

Objectifs d'adaptation	Maintien de la diversité biologique	Préservation de la capacité de production des écosystèmes forestiers	Maintien de la santé et de la vitalité des écosystèmes forestiers	Conservation et maintien des ressources pédologiques et hydriques
Mesures d'adaptation sur le plan stratégique	• Réduire la fragmentation de l'habitat et maintenir la connectivité • Préserver les types de forêts représentatifs de tous les gradients environnementaux dans des réserves • Protéger les refuges climatiques à plusieurs échelles • Repérer et protéger les groupes fonctionnels et les espèces clés • Maintenir les régimes d'incendie naturels • Prévoir des zones tampons pour rajuster les limites des réserves • Créer des réserves artificielles ou des arboretums pour préserver les espèces rares • Protéger les espèces les plus menacées *ex situ* • Élaborer un programme de gestion des gènes afin de préserver la diversité des patrimoines génétiques	• Pratiquer une foresterie de plantation intensive dans certains secteurs choisis afin de favoriser la croissance d'essences commerciales, surtout dans les régions où des accroissements de perturbations sont à prévoir • Améliorer les sols forestiers et atténuer les perturbations qui les touchent • Faciliter la régénération des arbres • Employer des techniques de contrôle de la végétation pour contrer la sécheresse • Planter des espèces génétiquement modifiées et déterminer les génotypes les plus appropriés • Améliorer la croissance de la forêt en fertilisant • Pratiquer une gestion active des ravageurs forestiers • Créer un sous-étage d'autres espèces ou génotypes si la régénération préexistante est inacceptable en tant que pépinière forestière • Éliminer de façon sélective les arbres dominés, endommagés ou de mauvaise qualité afin d'accroître la disponibilité des ressources pour les autres arbres (coupe précommerciale) • Abaisser l'âge d'exploitabilité et replanter afin d'accélérer l'établissement de types de forêt les plus adaptés possible	• Sélectionner en vue d'obtenir des génotypes spécifiquement résistants aux ravageurs et tolérants à divers stress et extrêmes climatiques • Réduire les stress non climatiques en gérant les impacts du tourisme, des activités de loisirs et du broutage, afin d'améliorer la capacité des écosystèmes à réagir au changement climatique • Réduire les stress non climatiques en réglementant les polluants atmosphériques, afin d'améliorer la capacité des écosystèmes à réagir au changement climatique • Réduire les stress non climatiques en restaurant les secteurs dégradés pour maintenir la diversité génétique et favoriser la santé des écosystèmes, afin d'améliorer la capacité des écosystèmes à réagir au changement climatique • Modifier les calendriers de récolte afin de récolter les peuplements les plus vulnérables aux proliférations d'insectes • Planter des génotypes tolérants à la sécheresse, aux insectes et (ou) aux maladies • Réduire les pertes dues aux maladies par des coupes d'assainissement qui ciblent les arbres infectés • Utiliser le brûlage dirigé pour réduire le risque d'incendie et la vulnérabilité des forêts aux proliférations d'insectes • Employer des techniques sylvicoles qui favorisent la productivité des forêts et la vigueur des peuplements (coupe partielle ou d'éclaircie) afin de réduire la susceptibilité aux attaques d'insectes • Raccourcir la période de rotation afin de réduire la période de vulnérabilité des peuplements aux insectes ravageurs et aux maladies et de faciliter le passage à des espèces plus appropriées	• Éviter de construire des routes dans des lieux propices aux glissements de terrain, là où l'augmentation des précipitations et la fonte du pergélisol risquent d'accroître le danger de glissement de talus • Améliorer les sols forestiers et atténuer les perturbations qui les touchent • Entretenir, mettre hors service et remettre en état les routes de façon à atténuer le ruissellement de sédiments dû à l'augmentation des précipitations et à la fonte du pergélisol • Atténuer les impacts que subissent l'infrastructure, le poisson et l'eau potable par suite du changement des périodes de débit et de volume de pointe dans les ruisseaux provoqué par la fonte hâtive ou accrue de la neige
Mesures d'adaptation sur le plan opérationnel	• Permettre aux forêts de se régénérer naturellement après des perturbations; privilégier la régénération naturelle si possible • Lutter contre les espèces envahissantes • Pratiquer une foresterie à faible intensité et empêcher la conversion en plantations • Faciliter les changements de la répartition des espèces en déplaçant celles-ci dans de nouvelles aires	• Limiter les espèces végétales susceptibles de profiter du changement climatique pour devenir plus compétitives • Assouplir les règles qui régissent le déplacement des semences d'un endroit à l'autre • Inclure des variables climatiques dans les modèles de croissance et de rendement afin d'obtenir des prévisions plus précises du développement futur des forêts • Concevoir et mettre sur pied des essais de longue durée sur des espèces ou des lots de semences multiples afin de vérifier le comportement des génotypes améliorés dans diverses combinaisons de climats et de latitudes		

TABLEAU 14: (suite)

Objectifs d'adaptation	Maintien de la contribution des forêts aux cycles planétaires du carbone	Maintien et accroissement des avantages socio-économiques à long terme	Cadre juridique, institutionnel et économique pour la conservation et l'aménagement durable des forêts
Mesures d'adaptation sur le plan stratégique	• Atténuer le changement climatique par la gestion du carbone forestier • Augmenter la superficie de forêt par le boisement • Réduire la dégradation des forêts et éviter le déboisement • Améliorer les sols forestiers et atténuer les perturbations qui les touchent	• Prévoir la variabilité et le changement, et évaluer la vulnérabilité à l'échelle régionale • Améliorer la capacité d'évaluation intégrée de la vulnérabilité des systèmes à diverses échelles • Favoriser l'apprentissage et l'innovation, et faire des recherches afin de déterminer le moment et le lieu appropriés pour mettre en œuvre des réponses adaptatives • Diversifier l'économie forestière (p. ex., explorer les marchés des produits de bois mort et des produits à valeur ajoutée) • Diversifier l'économie régionale (produits non forestiers) • Favoriser le dialogue entre les parties intéressées afin d'établir les priorités en matière de mesures d'adaptation au climat dans le secteur forestier • Élaborer la technologie nécessaire pour utiliser de nouvelles qualités de bois et compositions en espèces; modifier la technologie de transformation du bois • Choisir la composition en espèces à privilégier dans l'avenir; établir des objectifs pour la forêt de demain, compte tenu du changement climatique	• Établir des tenures de longue durée • Assouplir les règles qui régissent le déplacement des semences d'un endroit à l'autre • Offrir des mesures incitatives et éliminer les obstacles afin d'améliorer les puits de carbone et de réduire les émissions de gaz à effet de serre • Favoriser les activités de gestion des forêts susceptibles d'être incluses dans le système d'échange de crédits de carbone (tel que décrit au paragraphe 3.4 du Protocole de Kyoto) • Pratiquer une gestion adaptative, soit une méthode de gestion qui combine de façon rigoureuse la gestion, la recherche, la surveillance et les moyens nécessaires pour modifier les pratiques afin d'en tirer des renseignements probants et de modifier les activités de gestion en fonction de l'expérience acquise • Mesurer et surveiller les indicateurs du changement climatique et de la gestion forestière durable, et en faire rapport, afin de déterminer l'état des forêts et de détecter le moment où on atteint les seuils critiques • Évaluer le caractère adéquat des réseaux de surveillance environnementale et biologique actuellement en place pour observer les effets du changement climatique sur les écosystèmes forestiers; déceler les failles et les lacunes de ces réseaux et y apporter des solutions • Soutenir la recherche sur le changement climatique, les impacts du climat et l'adaptation au climat • Soutenir le partage des connaissances, le transfert de technologie, le renforcement des capacités et l'échange d'information sur le changement climatique • Incorporer les nouvelles connaissances sur l'avenir du climat et de la vulnérabilité des forêts aux plans et politiques de gestion des forêts • Solliciter la participation du public à l'évaluation des possibilités d'adaptation de la gestion des forêts
Mesures d'adaptation sur le plan opérationnel	• Permettre aux forêts de se régénérer naturellement à la suite d'une perturbation, favorisant la régénération naturelle autant que possible • Pratiquer le contrôle des espèces envahissantes • Adopter des pratiques de gestion forestière à faible intensité et éviter la conversion des espaces en plantations • Soutenir les modifications de répartition des espèces en les introduisant dans de nouvelles régions	• Inclure la gestion des risques dans les règles de gestion et les plans forestiers; améliorer la capacité de gestion des risques • Évaluer les émissions de gaz à effet de serre produites par les activités internes • Sensibiliser les intervenants aux effets potentiels du changement climatique sur le régime des feux et encourager toute mesure proactive de gestion des combustibles et de protection communautaire • Mettre en œuvre des techniques de type « firesmart » pour protéger les zones de grande valeur des incendies • Améliorer les récoltes de bois en réexploitant les peuplements endommagés par le feu ou les insectes	

Sources énumérées dans Ogden et Innes, 2007a.

4.7 PÊCHES

On estime à environ 240 espèces (190 marines, environ 15 anadromes et environ 35 dulcicoles) la piscifaune nordique du Canada (Richardson *et al.*, 2001; Evans *et al.*, 2002; Coad et Reist, 2004). En outre, il est possible que les eaux nordiques, particulièrement les eaux de mer, recèlent d'autres espèces de poissons non recensées, faute d'échantillonnage adéquat. Les régions voisines abritent également des espèces qui peuvent à l'occasion se retrouver dans le Nord. Les pêches nordiques ciblent relativement peu d'espèces endémiques (environ 11 espèces), en majorité des salmonidés (p. ex., le saumon, l'omble chevalier, le corégone et, l'ombre) capturés en eaux douces, estuariennes ou littorales. On pêche environ cinq espèces d'eau douce (p. ex., la lotte, le grand brochet, des meuniers et des perches). Un nombre encore plus restreint, soit deux ou trois, d'espèces de poissons de mer (dont le flétan noir et la morue polaire) et trois à six espèces

d'invertébrés (dont la crevette, la mye, la moule et l'oursin) complètent le tableau des taxons exploités (Nunavut Wildlife Management Board, 2004; Government of Nunavut et Nunavut Tunngavik Incorporated, 2005; Reist *et al.*, 2006a). Quelques autres espèces peuvent faire l'objet de pêche à l'échelle locale ou de prise accessoire qu'on rejette ou qu'on emploie comme appât ou nourriture pour chiens.

Avec l'évolution du climat, le nombre d'espèces présentes dans chaque région devrait s'accroître, surtout le long de la limite méridionale du Nord. On a trouvé des individus vagabonds de plusieurs espèces du sud, y compris trois espèces de saumon du Pacifique dans l'ouest de l'Arctique et le saumon atlantique dans l'est. La colonisation pourrait enrichir les possibilités de pêche, mais elle risque aussi d'aggraver les facteurs de stress existants à mesure qu'auront lieu la restructuration des écosystèmes, l'apparition de nouveaux prédateurs, la concurrence et l'introduction de parasites (Reist *et al.*, 2006b; Wrona *et al.*, 2006a). La prise d'individus vagabonds dans les pêches locales stimule l'intérêt envers le potentiel de pêches axées sur ces espèces dans l'avenir.

Les espèces anadromes et dulcicoles se divisent en trois groupes en fonction de leurs associations et préférences thermiques (*voir Wrona et al., 2005;* Reist *et al.*, 2006a) :

- les poissons arctiques (tolérance thermique < 10 °C) : espèces dont la répartition se situe complètement ou principalement dans le Nord (p. ex., le corégone tschir, un poisson anadrome de l'ouest de l'Arctique);
- les poissons nordiques adaptés à l'eau froide (11-15 °C) : espèces dont la limite de l'aire de répartition se situe quelque part dans le Nord;
- les poissons du sud adaptés aux eaux tempérées (21-25 °C) : la limite nord de l'aire de répartition de nombre de ces espèces (p. ex., le saumon atlantique) se situe près de l'extrême sud de la région nordique.

L'évolution du climat aura des effets différents sur ces trois groupes et sur les pêches qui les ciblent. Les espèces arctiques connaîtront sans doute une chute de productivité, une disparition localisée à la limite sud de leur aire de répartition et un rétrécissement généralisé de leur aire de répartition à mesure que les conditions locales dépasseront les seuils critiques et que les espèces du sud coloniseront leurs habitats et se poseront en concurrentes ou en espèces prédatrices. Les espèces nordiques adaptées à l'eau froide, tout comme les espèces du sud adaptées à l'eau tempérée, devraient montrer une hausse d'abondance et de productivité à l'échelle locale et, éventuellement, étendre leur aire de répartition vers le nord, si les conditions le permettent.

Chaque espèce de poisson est soit sténotherme (c.-à-d. adaptée à une plage de températures restreinte), soit eurytherme (adaptée à une vaste plage de températures; p. ex., Wrona *et al.*, 2005; Reist *et al.*, 2006a). Ces espèces sont souvent prises ensemble dans un même lieu de pêche. Dans de nombreux endroits du Nord, le changement du climat local pourrait se révéler avantageux pour une espèce, mais nuire à une autre. Cette variabilité de réaction aura des effets marqués sur la structure, la productivité et la durabilité des pêches, et représentera un défi pour les gestionnaires des pêches qui ont surtout recours à des méthodes de gestion axées sur la pêche monospécifique. Les structures et les méthodes de gestion axées sur les écosystèmes sont plus à même de réagir rapidement aux impacts du changement climatique. L'approche écosystémique consiste à accorder des valeurs différentielles aux espèces locales et à faciliter l'établissement d'objectifs réalisables de durabilité et de gestion des pêches.

Selon l'utilisation finale des prises, on distingue trois types de pêches nordiques, soit domestique, commerciale et récréative (Clarke, 1993). La pêche domestique comprend la pêche traditionnelle et de subsistance pratiquée par les Autochtones et la pêche domestique autorisée pratiquée par les habitants non autochtones du Nord. Les produits de la pêche commerciale autorisée sont vendus sur les marchés locaux ou éloignés. La pêche sportive ou récréative se définit comme une pêche autorisée pratiquée par des particuliers non autochtones. Comme le changement du climat touchera différemment chaque type et secteur de pêche, il est difficile d'élaborer des généralisations applicables à toutes les pêches de la région nordique. Bien que l'évaluation détaillée de l'ensemble des pêches nordiques dépasse la portée du présent chapitre, l'étude de cas 4 abordera nombre de ces problèmes et défis.

Les pêcheries commerciales (*voir* l'étude de cas 4) et les quelques installations d'aquaculture opérant dans le Nord sont généralement des activités restreintes et très dispersées, pratiquées sur de petits plans d'eau par des résidents des environs dans le but de se nourrir ou d'en tirer un revenu. Évaluées en fonction de paramètres habituels tels que le revenu commercial monétaire, elles n'offrent qu'un potentiel économique limité. L'évaluation de ces pêches multiples et dispersées doit cependant tenir compte d'une estimation du remplacement des protéines et de la valeur sociale et culturelle. Au Nunavut, on estime que les pêches rapportent annuellement de 12 à 14 millions de dollars à l'économie (Government of Nunavut et Nunavut Tunngavik Incorporated, 2005). De ce montant, 5,8 millions de dollars proviendraient de l'omble chevalier, dont 1,4 million représentant la vente sur le marché de 800 à 1 000 tonnes par an et 4,4 millions représentant la valeur nutritive du poisson pêché à des fins de subsistance.

Tout indique que les pêches commerciales des côtes marines et lacustres devront affronter de grands défis d'adaptation par suite de la transformation du climat. En plus du capital appréciable investi dans la flottille de pêche, cette activité est soutenue par des installations portuaires et de transformation qui exigent d'importantes dépenses d'investissement, de même qu'une inspection et un entretien réguliers pour garantir le respect des normes de transformation des produits de la pêche destinés au commerce. Dans le Nord, la production doit être relativement stable à long terme pour qu'on puisse récupérer les montants investis. Il y aurait peut-être lieu de revoir les perspectives actuelles, qui misent sur une forte contribution de ces activités au développement économique des régions nordiques à l'avenir (p. ex., Government of Nunavut et Nunavut Tunngavik Incorporated, 2005), à la lumière des conséquences du changement climatique.

La résilience des Autochtones du Nord et la capacité d'adaptation inhérente à leur mode de vie faciliteront le processus d'ajustement de la pêche traditionnelle et de subsistance à un climat en évolution. De par sa nature, la pêche sportive s'adapte fort bien à l'abondance de la récolte, à l'équipement employé et au lieu de pêche. Elle saura donc sans doute s'accommoder facilement des impacts du changement climatique, sauf peut-être dans le cas où une espèce subirait un important déclin sur un vaste territoire. À ce moment, le profil de la pêche sportive pourrait se transformer en ciblant de « nouvelles » espèces.

ÉTUDE DE CAS 4

Pêche commerciale et de subsistance dans l'Arctique

L'étude de cas ci-dessous décrit et compare trois pêcheries nordiques afin d'illustrer les défis que présente le climat en évolution pour la gestion des ressources.

Pêche commerciale au flétan noir au Nunavut

La pêche au flétan noir, aussi bien côtière qu'hauturière, s'est développée au Nunavut. Le flétan noir est un poisson plat qui vit normalement près du fond, dans les eaux profondes de la baie de Baffin et du détroit de Davis, de même qu'en région côtière, dans les fjords les plus profonds.

En général, on pratique la pêche côtière de décembre à mars, à travers la glace de rive de la baie Cumberland (*voir* la figure 19); le quota est actuellement fixé à 500 t. Menées depuis 1987, ces pêches rapportent chaque année de 4 à 430 t et emploient un effectif de 6 à 115 pêcheurs, actifs durant les 9 à 21 semaines que dure la saison. Récemment, la grande variabilité de la formation de glace de mer a nui aux déplacements et à la sécurité des pêcheurs en route vers les lieux de pêche. Certaines années, la pêche a connu peu de succès à cause de la distance appréciable entre la glace et les meilleurs lieux de pêche. De telles situations nuisent au recrutement initial et annuel des pêcheurs et se répercutent sur les usines de traitement, où les emplois se font plus rares, et sur les retombées économiques à l'échelle locale.

FIGURE 19 : Pêcheurs halant des lignes de pêche, activité de pêche côtière pratiquée à travers la glace. Photo gracieuseté du gouvernement du Nunavut.

Les effets projetés du changement climatique sur la glace de mer auront de graves conséquences pour les pêches côtières. Une mesure d'adaptation possible serait de diversifier les pêches côtières pour élargir le bassin de ressources; on augmenterait ainsi la résilience des collectivités face aux perturbations dues au climat ou à d'autres facteurs. On pourrait favoriser une telle diversification en ayant plus souvent recours à l'actuel programme de pêche exploratoire. La diversité des pêches locales comporte des avantages économiques, sociaux et sociétaux documentés au Groenland et dans d'autres collectivités de pêche de l'Atlantique Nord (p. ex., Hamilton et Otterstad, 1998; Hamilton *et al.*, 2000).

Dans cette région, la pêche hauturière, également importante, représente 550 t du quota total du Canada. Il s'agit d'une pêche au chalut de fond, en eau profonde, effectuée sur de grands navires durant la période d'eaux libres. L'accès aux lieux de pêche, bien que sujet à de légères variations annuelles en raison de l'état saisonnier de la glace, restera inchangé et pourrait même s'améliorer avec l'évolution du climat; les dangers dus à la glace risquent cependant de demeurer les mêmes ou de s'accroître. On ignore en grande partie l'effet qu'aura la modification du bilan des eaux douces sur la production de flétan noir. Selon Loeng *et al.* (2005), la modification du climat entraînera une importante restructuration des écosystèmes marins, poussant sans doute le flétan noir à quitter les eaux profondes pour gagner les plates-formes, ce qui se traduira par un déplacement des lieux de pêche et une nouvelle façon de pêcher. La flottille de pêche existante devra forcément s'y adapter, par exemple en changeant le type d'équipement et peut-être la taille des navires.

Pêches du Grand lac des Esclaves (Territoires du Nord-Ouest)

Le Grand lac des Esclaves, onzième du monde par sa superficie, a fourni récemment une récolte commerciale annuelle d'environ 1 200 t. On y pêche principalement le grand corégone, le grand brochet et l'inconnu (*voir* la figure 20). Le bras oriental du Grand lac des Esclaves est un lieu de pêche aux poissons trophées, en particulier le touladi. La pêche domestique est pratiquée près des rives et dans les affluents locaux. Tous les types de pêches ciblent plusieurs espèces. Pour éviter les conflits et maximiser la conservation, ainsi que la valeur et la durabilité des diverses pêcheries, les gestionnaires des pêches limitent les activités de pêche commerciale et sportive au moyen d'un système d'interdiction par zones, de quotas maximums et de restrictions d'équipement. Ces mesures deviendront sans doute des outils importants pour composer avec les effets d'un climat en évolution.

Parmi les impacts projetés du changement climatique figure une augmentation possible de 50 p. 100 du nombre de jours que compte la « saison de croissance optimale » des poissons d'eaux froides, comme le touladi, dans le bras oriental du lac (McLain *et al.*, 1994). Dans le bassin ouest, relativement peu profond, du Grand lac des Esclaves, cette augmentation due au climat risque fort de provoquer un stress au sein des populations de touladis, mais, chez les espèces ayant une meilleure tolérance aux températures élevées, comme le grand corégone, elle peut avoir des effets positifs en favorisant la croissance. La structure des écosystèmes du lac devrait se modifier à mesure que des espèces du sud, à l'heure actuelle confinées dans le réseau des rivières de l'Alberta en raison du climat, coloniseront le lac ou s'y multiplieront. Faute de données de référence, il est impossible d'estimer les effets ponctuels et cumulatifs de ces impacts. La gestion adaptative de l'écosystème lacustre devra tenir compte des effets cumulatifs, y compris les facteurs de stress d'ordre non climatique.

(suite à la page suivante)

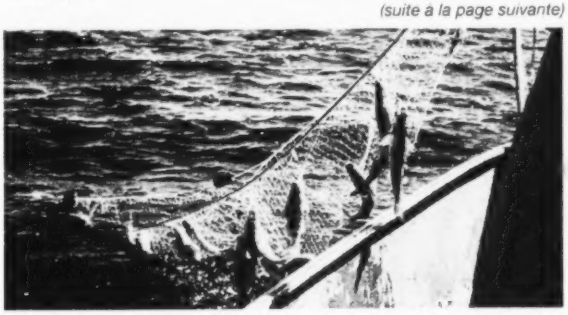


FIGURE 20 : Pêcheurs halant des filets à corégone sur le Grand lac des Esclaves. Photo gracieuseté de G. Low (Pêches et Océans Canada).

ÉTUDE DE CAS 4: (suite)

Pêche de subsistance à l'omble chevalier

La pêche de subsistance à l'omble chevalier et à d'autres espèces d'ombles apparentées se pratique partout où ces espèces sont présentes, mais, surtout, dans la région côtière de l'ouest de l'Arctique et dans l'ensemble du Nunavut. Selon des données tirées d'une étude sur la récolte réalisée par le Conseil de gestion des ressources fauniques du Nunavut (Nunavut Wildlife Management Board, 2004), cette espèce représente 45 p. 100 des prises unitaires parmi les quinze espèces les plus récoltées entre 1996 et 2001 (*voir* la figure 21). D'autres estimations (Government of Nunavut et Nunavut Tunngavik Incorporated, 2005) situent entre 1 200 et 1 500 t la récolte annuelle et lui attribuent une grande valeur pour l'économie et le mode de vie locaux. Toutes les collectivités du Nunavut et la plupart des collectivités inuvialuites et Gwich'in déclarent récolter soit de l'omble chevalier, soit du Dolly Varden. La pêche de subsistance traditionnelle, généralement pratiquée de façon simple et à court terme par de petites entreprises très dispersées, a toujours eu des effets d'ensemble très limités. Depuis peu, cependant, l'augmentation des populations autochtones et la centralisation des établissements restreignent l'efficacité de cette approche de la pêche de subsistance dans le Nord. Là où l'omble est convoité par plusieurs types de pêche (de subsistance, domestique, commerciale, sportive), les gestionnaires des pêches nordiques attribuent actuellement la plus grande valeur à la pêche traditionnelle et de subsistance (Clarke, 1993).

Parmi les effets projetés d'un climat en évolution sur l'omble, on peut mentionner la modification de la productivité et de la biodiversité, y compris le passage d'un cycle de vie principalement anadrome à la sédentarité, la disparition complète dans certaines régions et des baisses localisées de l'abondance ailleurs (Wrona *et al.*, 2005; Reist *et al.*, 2006a). Ce bouleversement des fondements biologiques des pêches aura des répercussions en cascade qui nécessiteront toute une gamme de mesures d'adaptation à l'échelle locale de la part des pêcheurs et des gestionnaires des pêches, lesquels devront notamment changer de lieux, de méthodes ou de calendriers de récolte, choisir d'autres espèces (ou types de cycles de vie), rajuster le niveau d'exploitation et, dans certains cas, modifier les attentes et la valeur associées aux ressources halieutiques (Reist *et al.*, 2006c). Une autre considération essentielle concerne l'interaction du changement climatique avec la dynamique des contaminants qui ont une incidence sur la productivité et la qualité du poisson (Wrona *et al.*, 2005) et donc, sur sa comestibilité. La surveillance de ces effets et des conséquences pour la santé humaine, devrait faire partie de l'approche générale adoptée par les pêches nordiques.

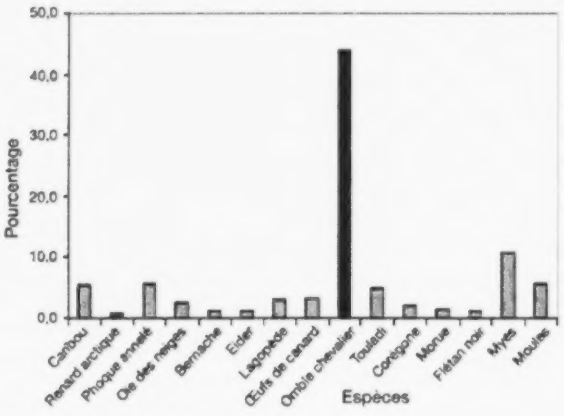


FIGURE 21 : Proportion des prises d'omble chevalier déclarées dans la pêche de subsistance au Nunavut, exprimée en pourcentage des prises des 15 espèces les plus récoltées, selon l'étude sur la récolte menée au Nunavut pour la période couvrant les années 1996 à 2001 (Nunavut Wildlife Management Board, 2004). *Figure préparée* par B. Dempson, Pêches et Océans Canada.

Pour aborder l'adaptation au changement climatique de façon générale et efficace, il faut comprendre et gérer de façon globale toutes les activités humaines qui touchent les écosystèmes aquatiques du Nord. Il n'existe pratiquement aucune donnée quantitative sur les effets des problèmes ayant des répercussions profondes dans le Nord, comme l'apport de contaminants, le changement climatique, l'appauvrissement de la couche d'ozone et l'accroissement du rayonnement UV, sur les populations de poissons. C'est pourquoi les stratégies d'adaptation doivent inclure une grande marge de sécurité pour favoriser la résilience du système. En ce qui concerne les pêches, il faudra sans doute revoir les stratégies de « durabilité » et adopter des limites inférieures au « niveau maximal soutenu » ou à la « récolte totale autorisée », présumée ou définie, puisqu'il s'agit, en général, du seul facteur qu'on puisse gérer. On pourrait accorder la priorité aux écosystèmes qui subissent ou sont susceptibles de subir les plus fortes transformations causées par tous les facteurs de stress. À l'heure actuelle, il semble que les systèmes aquatiques de l'ouest de l'Arctique, particulièrement ceux de la partie sud du Yukon, de la vallée du fleuve Mackenzie jusqu'au delta et de la côte de la mer de Beaufort, connaissent des changements très profonds (p. ex., Prowse *et al.*, 2006) et sont donc globalement les plus menacés.

4.8 ESPÈCES SAUVAGES, BIODIVERSITÉ ET ZONES PROTÉGÉES

Depuis des milliers d'années, la diversité des espèces sauvages est d'une importance cruciale pour les Autochtones du Nord canadien. Aujourd'hui, ces espèces occupent toujours une place de choix dans l'alimentation, les traditions et la culture des Autochtones, en plus de représenter une composante majeure de l'économie locale et régionale (Nuttall *et al.*, 2005). De nombreuses espèces d'oiseaux et de mammifères terrestres et marins de l'Arctique ont des besoins très précis en matière d'habitat et de niche, qui les rendent particulièrement sensibles au changement climatique (Conservation of Arctic Flora and Fauna, 2001). Les espèces sauvages à répartition géographique limitée qui vivent près de leur limite écologique ont été parmi les premières à manifester les effets de l'évolution du climat (Parmesan, 2006). Jusqu'à présent, l'évaluation des effets du changement climatique projeté sur les espèces sauvages de l'Arctique circumpolaire révèle une modification du taux de mortalité, une réduction de la capacité de reproduction, l'accroissement de la concurrence pour les ressources par suite de l'invasion d'espèces venues du sud et l'émergence de nouvelles zoonoses (Berner et *et al.*, 2005; Chapin *et al.*, 2006). Ces changements auront des impacts sur des espèces essentielles au maintien de la subsistance et de l'économie de certaines régions. On pourrait limiter l'effet de ces impacts en

adoptant des mesures d'adaptation proactives susceptibles d'en réduire les conséquences pour les populations humaines qui dépendent de ces ressources.

Espèces terrestres

Selon toute vraisemblance, le réchauffement et l'accroissement de l'humidité projetés pour l'Arctique devraient avoir une incidence sur la diversité et l'accessibilité des végétaux essentiels à plusieurs mammifères brouteurs, comme le caribou (*Rangifer tarandus*; caribou des bois et caribou de la toundra) et le bœuf musqué (*Ovibos moschatus*). Les variations du rayonnement ultraviolet, des précipitations et de la température auront des effets directs sur la valeur nutritive des plantes fourragères (Lenart *et al.*, 2002), tandis que l'évolution de la composition des communautés végétales risque d'entraîner la perte d'espèces végétales importantes pour la nutrition, que choisit de préférence le caribou durant les phases cruciales de la reproduction (White et Trudell, 1980). La hausse projetée de la température et des précipitations hivernales devrait normalement accroître les dépenses énergétiques des caribous, puisqu'il leur faudra creuser dans une couche de neige plus épaisse pour trouver leur nourriture (Russell *et al.*, 1993).

Depuis quelques années, certaines hardes de caribous de la toundra de l'ouest et de l'est de l'Arctique, notamment celles des Bluenose de l'est et de l'ouest, du cap Bathurst et de la Porcupine, ont connu un déclin significatif, au moins en partie attribuable à l'évolution du climat. On associe le déclin des populations à la difficulté de se procurer la nourriture appropriée et au harcèlement croissant des insectes qui nuit au broutage estival, entraînant une détérioration de l'état de santé des animaux et une réduction subséquente de la reproduction et du recrutement (Russell *et al.*, 1993). De même, la récente chute du nombre de caribous et de bœufs musqués dans les îles du centre-sud de l'archipel Arctique (Prince-de-Galles, Somerset et Russell) est en partie attribuable à la mortalité hivernale massive des deux espèces, due à l'accessibilité réduite des plantes fourragères par suite de conditions météorologiques hivernales particulièrement difficiles, notamment de fortes chutes de neige et une importante couverture de glace (Miller et Gunn, 2003; Harding, 2004; Gunn *et al.*, 2006; Tesar, 2007). Selon certains rapports, des conditions semblables dans les îles de l'ouest de l'Extrême-Arctique seraient responsables du déclin du caribou de Peary, désigné « espèce menacée » à l'heure actuelle. Parmi les autres facteurs qui contribuent au déclin de certaines hardes figurent l'accroissement de la concurrence entre les caribous et les bœufs musqués qui occupent le même habitat, l'augmentation de l'incidence d'infections parasitaires, l'émigration vers des secteurs voisins, la prédation par le loup et la chasse (Gunn *et al.*, 2006). Au moyen de quatre scénarios climatiques, Brotton et Wall (1997) ont prédit des impacts semblables pour la harde de caribous de Bathurst.

Le caribou est une espèce traditionnelle et de subsistance essentielle aux peuples autochtones de l'Arctique canadien, dont les Gwich'in, les Tli cho, les Denesulines et les Inuits, et occupe une place importante dans la nutrition, l'économie, la culture et la spiritualité des différentes collectivités. La sensibilité du caribou au climat met en lumière la nécessité de surveiller et de mieux comprendre les changements que subissent les groupes restreints d'animaux génétiquement uniques, ainsi que ces espèces qui, pour de nombreuses raisons, sont importantes aux populations autochtones, et d'adapter en conséquence les stratégies de gestion des espèces sauvages (Miller *et al.*, 2005; Gunn *et al.*, 2006). Pour éviter que les espèces ne déclinent au point de ne plus pouvoir se rétablir, les mesures d'adaptation doivent limiter les risques de mortalité massive non détectée dans les hardes ainsi qu'interdire toute récolte dépassant le niveau de survie des espèces (Brotton et Wall, 1997; Klein *et al.*, 2005). Les conseils de gestion de la faune des Territoires du Nord-Ouest envisagent la possibilité de mettre en œuvre des mesures pour réduire la chasse au caribou par les personnes autres que les résidents et les Autochtones (Tesar, 2007). Les stratégies de cogestion adaptative, qui font intervenir les chasseurs autochtones locaux et associent les connaissances scientifiques et traditionnelles, prennent de plus en plus d'importance (Klein *et al.*, 2005; Parlee *et al.*, 2005).

Espèces marines

L'environnement marin de l'Arctique accueille une diversité de grands mammifères qui se sont adaptés aux conditions particulières de cet écosystème. Le phoque annelé (*Phoca hispida*), le morse (*Odobenus rosmarus*), le narval (*Monodon monocerus*), l'ours blanc (*Ursus maritimus*) et le béluga (*Delphinapterus leucas*) se retrouvent couramment dans le Nord du Canada et font souvent l'objet d'une récolte par les populations autochtones côtières (Nuttall *et al.*, 2005); ils présentent donc de nombreux avantages économiques, culturels et de santé (Van Oostdam *et al.*, 2005). Plusieurs de ces espèces sont aussi le point de mire d'initiatives de tourisme et de chasse sportive importantes pour l'Arctique. Toute modification de la répartition, de la stabilité et de la durée annuelle de présence de la glace de mer et de la neige aura une forte incidence sur leurs populations. Certaines espèces qui ont besoin de la glace de mer comme plate-forme pour se reposer, mettre bas, muer ou se nourrir montrent déjà des signes de stress aux limites sud de leur aire de répartition (Learmonth *et al.*, 2006). Les espèces qui dépendent de l'environnement de lisière de glace, comme le béluga, le narval et le morse, sont très vulnérables aux effets de l'amenuisement prévu de la couverture de glace de mer (Learmonth *et al.*, 2006).

Des études démontrent que l'amincissement de la couche de neige et l'arrivée hâtive de la rupture printanière des glaces agissent sur le taux de survie et de recrutement des petits phoques annelés (*Phoca hispida*) de l'ouest de la baie d'Hudson; en outre, elles associent le réchauffement et les pluies précoces du printemps à la fonte et à la destruction des repaires des phoques annelés du sud-est de l'île de Baffin (Stirling et Smith, 2004; Ferguson *et al.*, 2005). Un examen réalisé par Barber et Iacozza (2004) des changements de l'état de la glace de mer et de la capacité de celle-ci à servir d'habitat aux phoques annelés du détroit de M'Clintock et du golfe de Boothia a révélé que, malgré une grande variabilité interannuelle, on a constaté des effets négatifs sur l'habitat du phoque annelé de 1997 à 2001. Pour certaines autres espèces de phoques, comme le phoque commun et le phoque gris, le réchauffement du climat et la réduction de la couverture de glace se traduiront par un élargissement de l'aire de répartition vers le nord et une augmentation de leur abondance dans les eaux de l'Arctique.

La répartition des ours blancs (*Ursus maritimus*) dépend en partie de conditions de glace qui leur permettent de chasser et de se déplacer de façon efficace. Cette relation est particulièrement prononcée dans les secteurs de glaces en mouvement, entre les aires d'alimentation et celles de mise bas et d'élevage (Learmonth *et al.*, 2006). Comme l'ours blanc se nourrit presque exclusivement de phoques annelés, tout changement de la répartition et de l'étendue des glaces qui touche les populations de phoques aura des répercussions sur la répartition des ours blancs et sur leur capacité de se nourrir. Un rapport documente une importante diminution de l'effectif et de l'état de santé des populations méridionales d'ours

adultes dans l'ouest de la baie d'Hudson et associe cette diminution aux changements qu'ont connus la glace de mer et les populations de phoques (Stirling *et al.*, 1999; Ferguson *et al.*, 2005). Ces changements obligent les ours à parcourir de plus longues distances à la recherche de phoques et à diversifier leur alimentation autant que possible, ce qui se traduit par une dépense d'énergie accrue et un appauvrissement des réserves adipeuses. À terme, cette situation risque de nuire à la capacité reproductive des femelles et à la santé des petits dont la mère manque de réserves de gras durant l'hiver (Derocher *et al.*, 2004). Les variations de la proportion des différentes espèces de phoques dans l'alimentation des ours blancs de la baie d'Hudson témoignent elles aussi des effets en cascade qu'entraînent vraisemblablement l'évolution du climat et d'autres facteurs de stress chez les ours de cette région (Stirling, 2005). Certains chercheurs avancent en outre que les changements dans l'état des glaces, de même que la concurrence intraspécifique et interspécifique, sont en partie responsables de la mortalité des ours de la mer de Beaufort (Amstrup *et al.*, 2006; Monnett et Gleason, 2006).

Le changement climatique projeté va probablement améliorer l'habitat des phoques et des ours aux latitudes les plus élevées dans un proche avenir, lorsque des glaces annuelles viendront remplacer les glaces pluriannuelles, créant des chenaux et des crêtes de pression. À plus long terme, cependant, il est probable qu'on constatera aux hautes latitudes des effets semblables à ceux actuellement constatés dans la baie d'Hudson (Derocher *et al.*, 2004).

La place emblématique qu'occupe l'ours blanc en tant que symbole du Nord canadien sous-tend souvent le discours sur son avenir. Non seulement l'ours blanc est-il un élément important de l'écosystème arctique, mais il attire aussi chaque année de nombreux visiteurs dans le Nord et joue un rôle majeur dans la culture et l'économie de nombreuses collectivités autochtones. Dans les régions où la chasse sportive est très prisée, comme l'ouest de la baie d'Hudson et le détroit de Lancaster, les collectivités du Nunavut lui accordent une grande valeur économique. En effet, le coupon délivré à un chasseur non résident peut rapporter à lui seul jusqu'à 20 000 $, sans compter les revenus supplémentaires que recueillent les résidents de la localité en offrant de l'équipement ou des services de guides (Wenzel, 2005; Freeman et Wenzel, 2006). Ainsi, les répercussions de la modification des régimes climatiques sur les populations d'ours blancs ont également des conséquences importantes sur les des activités touristiques et culturelles, et sur les économies locales dans plusieurs régions.

On connaît moins bien les effets potentiels du changement climatique sur les espèces de baleines de l'Arctique que sur les autres grands mammifères marins (Loeng *et al.*, 2005). On suppose que les changements de la répartition et de l'étendue de la couche de glace, ainsi que de la formation et de l'emplacement des polynies, auront un effet sur les proies et, donc, sur l'aire et la répartition de nombreux cétacés nordiques. De façon générale, le réchauffement occasionnera une modification de la composition en espèces, avec une tendance au déplacement vers le nord des structures communautaires et à la disparition possible de certaines espèces polaires (Tynan et DeMaster, 1997). Moshenko *et al.* (2003), par exemple, ont classé le changement climatique parmi les risques les plus menaçants pour les baleines boréales.(Balaena mysticetus)

Espèces d'oiseaux

De nombreux oiseaux marins et autres espèces aviaires migratrices servent de nourriture aux Autochtones du Nord et contribuent à l'économie locale de certaines régions (p. ex., le duvet d'eider). Le réchauffement des eaux et l'évolution de la répartition des glaces et de la productivité des proies ont déjà des conséquences sur certaines espèces d'oiseaux nordiques. La mouette blanche (*Pagophila eburnea*), dont la répartition est associée à la glace de mer, a déjà vu sa population rétrécir, et tout indique que cette tendance se poursuivra dans l'avenir (Mallory *et al.*, 2003). Des études menées sur le guillemot de Brünnich (*Uria lomvia*) ont fait état de changements au moment où a lieu la reproduction aux limites aussi bien septentrionale que méridionale de son aire, suivie d'une ponte précoce caractérisée par un faible taux de croissance des petits et de masse corporelle des adultes aux limites sud, et par une diminution de la capacité de reproduction durant ces années où la glace est tardive aux limites nord. Gilchrist et Robertson (2000) ont démontré l'importance des petites polynies et de la lisière de la banquise à proximité desquelles des espèces comme le haralde kakawi (*Clangula hyemalus*) et l'eider à tête grise (*Somateria spectabilis*) choisissent de passer l'hiver dans la baie d'Hudson. Partout dans le Nord, des chasseurs autochtones indiquent avoir constaté des changements dans les voies et les périodes de migration, et dans le comportement reproducteur des oiseaux, ainsi que la présence d'espèces jamais vues auparavant (p. ex., Huntington *et al.*, 2005; Nuttall *et al.*, 2005; Nickels *et al.*, 2006). Ces résultats indiquent que, dans un proche avenir, le réchauffement de l'Arctique canadien devrait continuer à avoir des effets positifs sur certaines espèces d'oiseaux à la limite nord de leur aire de répartition, mais négatifs sur les espèces qui sont à la limite sud de la leur (Gaston *et al.*, 2005).

Face à l'évolution du climat, la conservation et la protection des ressources aviaires migratrices représenteront un réel défi dans l'Arctique, particulièrement dans les régions où l'activité industrielle, le tourisme et la croissance démographique de certaines localités contribuent au stress. La protection de zones marines clés pourrait aider considérablement à maintenir l'intégrité des écosystèmes et ainsi à assurer la protection des populations d'oiseaux marins (Dickson et Gilchrist, 2002). Les stratégies de gestion menées en collaboration avec les utilisateurs des ressources (les résidents autochtones et autres) et les représentants de l'industrie devront tenir compte des multiples facteurs de stress qui agissent sur les populations d'oiseaux.

Contaminants et espèces sauvages

Les changements d'origine climatique déjà constatés dans le Nord ont aussi une incidence sur l'exposition des espèces sauvages aux contaminants environnementaux et sur leur absorption de ces contaminants (MacDonald, 2005; MacDonald *et al.*, 2005). Nombre de contaminants environnementaux sont transportés vers les régions polaires par les courants atmosphériques et aquatiques, des voies aujourd'hui modifiées par un climat en évolution (Arctic Monitoring and Assessment Program, 2003b). Pour des métaux tels que le plomb, le cadmium et le zinc, tout indique que l'Arctique deviendra un « puits » plus efficace avec l'augmentation prévue des précipitations. La concentration de mercure semble en hausse dans certains systèmes aquatiques nordiques, hausse en partie associée aux changements de la couverture de glace et à la fonte du pergélisol. Les espèces migratrices constituent une forme de biotransport, puisqu'elles modifient la répartition des contaminants dont elles sont chargées. Les régions qui voient apparaître de nouvelles espèces seront très vulnérables à la hausse de la charge des contaminants dans l'avenir. Enfin, les hydrocarbures seront touchés par la transformation de la répartition des glaces de mer et des courants de dérive (MacDonald *et al.*, 2005). Le changement le plus important du transport des contaminants vers l'Arctique ou à l'intérieur de la région pourrait découler de l'ouverture

croissante de l'océan Arctique au transport, au tourisme et à l'exploration minière.

Les changements de la composition et de la concentration des contaminants dans les principales espèces sauvages consommées par les résidents du Nord risquent d'avoir une incidence majeure sur la santé et le bien-être humains (*voir* la section 5; Kraemer *et al.*, 2005). Dans l'avenir, pour arriver à déterminer avec plus de précision les tendances des contaminants présents dans les principales espèces sauvages et pour établir avec certitude les effets du climat sur les niveaux qu'ils peuvent atteindre, il faudra recueillir des données simultanément dans des milieux biotiques et abiotiques (MacDonald *et al.*, 2005).

Biodiversité et zones protégées

Selon les projections, le changement climatique devrait toucher la biodiversité de l'Arctique en modifiant l'aire de répartition et les habitats des espèces, l'abondance des espèces, la diversité génétique et le comportement des espèces migratrices, et l'introduction d'espèces exotiques (Usher *et al.*, 2005). À l'heure actuelle, la planification des parcs et des zones protégées adopte une approche de représentation de la région ou de l'écorégion naturelles qui vise à protéger certaines caractéristiques, espèces et biocénoses propres à chaque site. En règle générale, ces plans ne tiennent pas compte des modifications de la répartition et de la structure des écosystèmes susceptibles de se produire à l'échelle du paysage, au rythme de l'évolution du climat (Lemieux et Scott, 2005).

Au moyen de deux modèles de végétation planétaires et de plusieurs modèles climatiques, Lemieux et Scott (2005) ont prévu une diminution de plus de 50 p. 100 des terres protégées dans chacun des trois biomes nordiques (toundra, taïga/toundra, forêt boréale). Dans un scénario de doublement de la concentration de CO^2, de telles projections soulèvent des questions quant à la capacité des plans actuels de protéger encore longtemps un échantillon représentatif des écosystèmes de l'Arctique canadien et, à terme, la biodiversité de l'Arctique. Usher *et al.* (2005) ont conclu à l'urgence d'élaborer et d'adopter de nouvelles approches pour gérer la biodiversité de l'Arctique. Dans une optique d'adaptation, les plans des zones de conservation et de zones protégées doivent prendre en considération les changements prévus de la phénologie et les déplacements des différentes espèces en réaction à l'évolution du climat, de même que l'éventuelle modification des biocénoses. Des perturbations des interactions concurrentielles ou entre prédateur et proie pourraient mettre en péril la durabilité des fonctions écologiques dont dépendent les populations humaines (p. ex., Root et Schneider, 1993; Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Cette situation s'applique particulièrement dans le cas des espèces susceptibles de subir des stress cumulatifs découlant du changement climatique, de l'accélération du développement et d'autres facteurs anthropiques.

4.9 TOURISME

Depuis quelques années, l'Arctique suscite un intérêt croissant et attire de plus en plus de touristes (Stewart *et al.*, 2005). Malgré le manque de statistiques normalisées sur le tourisme pour l'ensemble de la région (Pagnan, 2003), on dispose de quelques indicateurs du nombre de visiteurs et de leur importance pour l'économie locale et régionale. C'est au Yukon que le tourisme rapporte le plus d'avantages économiques puisque environ 32 000 touristes y sont passés en 2002, générant une valeur économique de quelque 164 millions de dollars (Pagnan, 2003). Bien que les chasseurs et les pêcheurs ne représentent que 14 p. 100 des visiteurs des Territoires-du-Nord-Ouest, ils sont à l'origine d'environ 45 p. 100 du montant annuel injecté par les touristes dans l'économie du territoire. Au Nunavut, le tourisme est le quatrième secteur économique en importance; en 2003, 18 000 personnes ont visité le plus nouveau territoire canadien.

Depuis longtemps, le développement économique est l'élément moteur du tourisme dans le Nord (Stewart *et al.*, 2005). La diversification de l'économie comporte certes des avantages économiques évidents, mais les effets du tourisme sur les collectivités nordiques et les entreprises locales suscitent néanmoins certaines inquiétudes. Les Inuits de Clyde River (Nunavut), par exemple, ont manifesté leur intérêt pour les occasions d'affaires associées au tourisme, dans la mesure où ces activités se développent de façon graduelle et restent entre les mains de la collectivité (Nickels *et al.*, 1991; Stewart *et al.*, 2005).

Dans l'Arctique, l'industrie du tourisme se bute à quelques difficultés particulières, dont la brièveté de la saison des voyages, les difficultés de transport, le coût de l'infrastructure et la dépendance à l'égard de la nature. Un climat en évolution pourrait avoir des effets positifs sur l'industrie du tourisme en facilitant l'accès et en prolongeant la saison des voyages. Si le passage du Nord-Ouest devenait de plus en plus navigable, les possibilités de croisière dans ces lieux sauvages relativement inconnus pourraient se multiplier (Stewart *et al.*, 2005); cependant, les risques associés aux glaces demeureront probablement élevés durant encore plusieurs décennies (*voir* les sections 3.1 et 4.5.1).

5 COLLECTIVITÉS, SANTÉ ET BIEN-ÊTRE

Partout, dans le Nord, des collectivités font déjà état d'impacts et de difficultés associés au changement et à la variabilité du climat (p. ex., Krupnik et Jolly, 2002; Ford *et al.*, 2006b; Nickels *et al.*, 2006; Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation-Nord, 2006a-c). La répartition des effets économiques, culturels, sociaux et sanitaires associés à l'évolution du climat variera d'une région à l'autre et d'un segment de la population à l'autre (Arctic Climate Impact Assessment, 2004, 2005). En outre, le climat n'est qu'un seul des nombreux facteurs dont le changement a une incidence sur la nature des établissements et des populations des trois territoires canadiens (*voir* la section 2.2). Ce sont les interactions et les effets des changements en cours touchant les systèmes humains, économiques et biophysiques, aggravés par l'évolution du climat régional et local, qui ont une influence disproportionnée sur la santé et le bien-être des résidents du Nord (Chapin *et al.*, 2005).

La majeure partie des recherches menées jusqu'ici quant aux effets du climat sur les systèmes anthropiques de l'Arctique abordent la question à l'échelle de l'individu ou d'une sous-population (p. ex., les chasseurs d'une localité). Les études de cas visant des collectivités, comme celles réalisées par Ford *et al.* (2006b), sont surtout axées sur de petites populations autochtones isolées et donnent des indications sur la vulnérabilité de certains résidents du Nord. La difficulté de comprendre la vulnérabilité de toute la région nordique est aggravée par la diversité des types de collectivités et leur nature dynamique. Les facteurs qui ont une incidence sur la vulnérabilité des collectivités (*voir* le chapitre 2) varient énormément selon qu'il s'agit de petites collectivités isolées à prédominance autochtone, de centres régionaux ou de municipalités nordiques d'envergure.

Des ateliers (p. ex., Council of Yukon First Nations et Arctic Athabaskan Council, 2003; Anonyme, 2006; Nickels *et al.*, 2006) ont permis de repérer diverses incidences locales et préoccupations pour l'avenir dans l'ensemble des territoires du Nord. Au cours de l'un des rares ateliers axés sur les municipalités, les résidents de Yellowknife ont soulevé de nombreux domaines d'incidence et de préoccupation, notamment ceux portant sur les eaux municipales et l'assainissement de l'eau, les routes et infrastructures municipales, les sources d'électricité, les stratégies d'adaptation et la planification (Anonyme, 2006). Bien que peu d'études se soient penchées sur la façon dont le changement climatique est pris en considération ou intégré dans la planification ou d'autres processus décisionnels aux échelons municipal et régional, certaines collectivités des Territoires du Nord-Ouest ont élaboré des processus de planification intégrée qui font intervenir à la fois la réduction des gaz à effet de serre et le développement d'une capacité d'adaptation à long terme (Bromley *et al.*, 2004). Un atelier régional a eu lieu au Nunavut et d'autres sont prévus qui porteront sur la planification de l'adaptation au changement climatique; des projets définis à caractère communautaire ont aussi été lancés à la suite de la tenue de cette première rencontre (Government of Nunavut, 2006). Les préoccupations communes des petits établissements isolés concernent non seulement les effets de la fonte du pergélisol et de l'érosion des côtes sur l'infrastructure, mais aussi les conséquences déjà perceptibles d'un climat en évolution sur leurs relations avec l'environnement local, les services qu'ils en tirent (p. ex., les aliments traditionnels, l'eau brute, certains aspects liés à la santé et au bien-être) et la place de l'environnement dans la culture, les traditions et l'identité locales (p. ex., Council of Yukon First Nations et Arctic Athabaskan Council, 2003; Nickels *et al.*, 2006).

Les effets du changement climatique sur les systèmes biophysiques et économiques du Nord (*voir* les sections 3 et 4), lorsqu'ils interagissent avec les facteurs de stress non reliés au climat, ont des répercussions tant directes qu'indirectes sur les résidents, leur santé et leur bien-être. La répartition et l'ampleur de ces impacts dépendent des vulnérabilités existantes et des caractéristiques de la capacité d'adaptation aux échelles individuelle et collective (Ford et Smit, 2004).

5.1 EFFETS DIRECTS SUR LA SANTÉ ET LE BIEN-ÊTRE

Les effets directs du climat sur la santé et le bien-être des habitants des collectivités nordiques sont surtout reliés aux températures et phénomènes météorologiques extrêmes et aux risques naturels (*voir* le tableau 15). Furgal *et al.* (sous presse) ont décrit en détail les aspects vulnérables de la santé humaine face au climat dans le Nord canadien. D'autres études (p. ex., Berner *et al.*, 2005) ont porté sur les effets sur les résidents du Nord des changements du niveau d'exposition aux rayons ultraviolets-B.

Dans toutes les régions de l'Arctique canadien, des résidents de petites localités à prédominance autochtone signalent que les conditions météorologiques sont moins prévisibles qu'autrefois et, dans certains cas, que les tempêtes progressent plus rapidement (p. ex., Huntington *et al.*, 2005; Ford *et al.*, 2006b; Nickels *et al.*, 2006). Cette imprévisibilité limite les déplacements et la participation aux activités sur terre et de subsistance, et fait croître le risque de se perdre ou d'avoir des accidents sur terre (Ford et Smit, 2004; Ford *et al.*, 2006b; Nickels *et al.*, 2006). Selon les résidents d'Arctic Bay (Nunavut), la « fréquence accrue des tempêtes » augmente les risques de la navigation estivale et limite l'accès à certains territoires de chasse (Ford *et al.*, 2006b). Ces changements ont des répercussions économiques sur les particuliers et les ménages, qui voient augmenter les dommages subis par leur équipement et diminuer ou disparaître les prises de nourriture traditionnelle. Les températures extrêmes, qu'elles soient basses ou hautes, agissent directement sur la santé. Le Council of Yukon First Nations indique que 7 p. 100 des blessures subies par les jeunes sont liées au froid, comme l'hypothermie et les gelures (Council of Yukon First Nations, 2006); on signale aussi des cas de stress associé à la chaleur, surtout chez les personnes âgées, dans plusieurs régions (p. ex., Collectivités du Labrador et al., 2005; Collectivités de la région désignée des Inuvialuits *et al.*, 2005). Selon des données qualitatives, l'incidence de blessures découlant d'accidents attribuables aux conditions météorologiques est en hausse dans les petites collectivités côtières de toutes les régions du Nord (Nickels *et al.*, 2006). Bien qu'une analyse préliminaire (Noonan *et al.*, 2005) ait démontré une augmentation de la variabilité quotidienne des conditions météorologiques au Nunavut et que les modèles climatiques prévoient une hausse de la fréquence et de la gravité des phénomènes extrêmes (tempêtes, inondations, formation de glace sur des couches de neige, sécheresses), les impacts de ce type de phénomènes sur la santé demeurent difficiles à prévoir (Berner *et al.*, 2005).

Afin de faire face à l'évolution des conditions météorologiques, les résidents du Nord signalent qu'il faut améliorer l'infrastructure permettant de communiquer l'information météorologique, notamment les services de téléphonie cellulaire et de radio émettant sur la bande CB, et construire sur les terres de nouveaux abris permanents qui serviront de refuge durant les tempêtes (Collectivités de la région désignée des Inuvialuits *et al.*, 2005). Dans les collectivités de Repulse Bay et d'Arctic Bay, au Nunavut, les résidents affirment que, lorsqu'ils partent à la chasse ou en voyage sur la terre, ils emportent plus de réserves qu'auparavant, par exemple des vêtements chauds additionnels, des briquets et de la nourriture supplémentaire, afin d'être prêts à affronter des conditions météorologiques imprévues (Collectivité de Repulse Bay *et al.*, 2005; Ford *et al.*, 2006b). Les gens deviennent, en outre, plus craintifs face au risque et certains résidents limitent leurs déplacements et leurs activités de chasse pour éviter les tempêtes. Dans plusieurs localités, les chasseurs déclarent avoir de plus en plus recours aux systèmes de positionnement par satellites (GPS) pour la navigation et à des véhicules plus gros ou plus rapides pour compenser les difficultés causées par un temps inclément ou imprévisible. Ces adaptations peuvent cependant accroître l'exposition aux risques en créant une impression de sécurité chez les chasseurs et en encourageant les déplacements dans des circonstances dangereuses.

TABLEAU 15 : Sommaire des impacts directs possibles sur la santé associés au climat dans les régions nordiques (*selon* Furgal *et al.*, 2002).

Changement climatique constaté	Impacts directs potentiels sur la santé
Élévation (ordre de grandeur et fréquence) des températures extrêmes	Augmentation de la morbidité et de la mortalité associées à la chaleur et au froid
Augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes (p. ex. tempêtes, etc.) Augmentation des conditions météorologiques non caractéristiques	Augmentation de la fréquence et de la gravité des accidents de chasse et de transport qui entraînent des blessures, la mort ou un stress psychosocial
Augmentation de l'exposition au rayonnement ultraviolet-B	Augmentation des risques de cancer de la peau, de brûlures, de maladies infectieuses, d'affections oculaires (cataractes), d'immuno-suppression

Très peu de documents témoignent des dangers naturels associés aux conditions météorologiques, comme les avalanches, dans les régions nordiques. Des avalanches mortelles et des dommages à la propriété ont été enregistrés au Nunavik (Québec arctique), au Nunavut, dans les Territoires du Nord-Ouest et au Yukon, mais beaucoup moins souvent qu'en Colombie-Britannique ou en Alberta. Des phénomènes tels que l'avalanche de Kangiqsualujjuaq (Nunavik), qui a fait 9 morts et 25 blessés en 1999, illustrent la vulnérabilité des localités du Nord. Depuis quelques années, les résidents ont constaté une fréquence accrue des épisodes de gel et dégel hivernaux, qui créent des conditions favorables au déclenchement de glissements de neige et d'avalanches, surtout dans les régions de l'est de l'Arctique (Nickels *et al.*, 2006). Certaines parties de l'ouest de l'Arctique dans lesquelles un fort réchauffement hivernal a déjà été enregistré (p. ex., les collectivités des régions montagneuses du Yukon) sont particulièrement vulnérables au risque d'avalanche. Les glissements de terrain associés à de fortes pluies et au dégel du pergélisol sont un autre danger naturel lié au climat. D'après certaines collectivités d'Arctic Bay et de la région désignée des Inuvialuits (Nunavut), ces phénomènes, constatés pour la première fois depuis quelques décennies (Ford *et al.*, 2006b; Nickels *et al.*, 2006), rendent les conditions de déplacement de plus en plus dangereuses (Ford et Smit, 2004; Collectivité d'Arctic Bay *et al.*, 2006).

Peu de recherches ont examiné les risques associés à l'évolution du climat sur l'établissement des zones de risque et les stratégies d'adaptation des collectivités nordiques (Lied et Domaas, 2000). Newton *et al.* (2005) ont recommandé de réaliser des recherches appliquées en ce sens en collaboration avec les collectivités nordiques et les groupes autochtones, afin d'y inclure la compréhension et la connaissance locales des conditions climatiques. D'après certaines collectivités des régions montagneuses du Nord, compte tenu de l'augmentation de la menace de dangers naturels associés aux conditions météorologiques, il est de plus en plus important de disposer de personnel de recherche et de sauvetage en nombre suffisant et doté d'une formation adéquate (p. ex., Collectivités du Labrador *et al.*, 2005).

5.2 EFFETS INDIRECTS SUR LA SANTÉ ET LE BIEN-ÊTRE

Les répercussions indirectes d'un climat en évolution sur la santé et le bien-être des collectivités et les résidents du Nord sont attribuables aux changements des conditions de glace, à l'exposition à des maladies émergentes, à la transformation et à la détérioration de certains aspects de la sécurité alimentaire, aux conséquences de la fonte du pergélisol sur l'infrastructure communautaire et aux effets combinés des changements environnementaux et autres sur les habitants du Nord. Furgal *et al.* (sous presse) ont expliqué de façon détaillée les vulnérabilités de la santé humaine ayant des liens indirects avec le climat (*voir* le tableau 16). On trouvera ci-dessous un aperçu général des répercussions sur l'homme des changements de nature climatique dans les territoires nordiques.

Conditions de glace et sécurité

Selon des études scientifiques et les constatations locales des Autochtones, la période sans glace a tendance à s'allonger, tandis que l'épaisseur de la glace et l'étendue de la couverture de la glace de mer diminuent (*voir* la section 3.1; Huntington *et al.*, 2005; Walsh *et al.*, 2005; Ford *et al.*, 2006b; Gearheard *et al.*, 2006; Nickels *et al.*, 2006). Les modèles prévoient une poursuite de ces récentes tendances tout au long du XXI^{e} siècle, la plus forte perte estivale de glace de mer étant prévue dans la mer de Beaufort (Walsh *et al.*, 2005). Flato et Brown (1996) ont estimé que la poursuite du réchauffement provoquera une diminution de 0,06 m de l'épaisseur de la glace de rive et une réduction de la durée de couverture de 7,5 jours/1 °C . Si ces prévisions se révèlent fondées, une localité comme Arctic Bay (Nunavut) pourrait voir sa glace de rive s'amincir de 50 cm et la période de couverture raccourcir de deux mois d'ici 2080 à 2100 (Ford *et al.*, 2006b).

En plus des conséquences énumérées dans les sections 3 et 4, les changements de la couverture de glace sont également importants à la poursuite d'un bon nombre d'activités traditionnelles et de subsistance. La glace de mer constitue une plate-forme stable que les résidents du Nord peuvent emprunter pour se déplacer ou chasser; par ailleurs, elle est essentielle à la reproduction et à la survie de plusieurs espèces marines de l'Arctique (*voir* la section 4.8). Des résidents inuits font état d'une modification récente des caractéristiques de la glace, d'un danger croissant et d'un accès plus difficile aux territoires de chasse et de récolte d'aliments traditionnels dans l'ensemble des territoires (Riedlinger et Berkes, 2001; Huntington *et al.*, 2005; Ford *et al.*, 2006b; Nickels *et al.*, 2006). L'augmentation perçue du nombre d'accidents et de noyades associés aux conditions glacielles (Lafortune *et al.*, 2004; Barron, 2006) pourrait se refléter dans les statistiques recueillies, lesquelles indiquent une incidence accrue de décès et de blessures accidentels dans les petits établissements des Territoires du Nord-Ouest (Government of the Northwest Territories, 2004). La vitesse et le volume accrus de l'écoulement provenant de la fonte de la glace et de la neige créent un danger pour les jeunes enfants dans les collectivités nordiques. Parmi les impacts économiques qui découlent des changements de l'état de la glace figurent la perte de revenus due à la baisse des récoltes de phoques ou de narvals, les dommages causés à l'équipement et la difficulté d'accéder aux ressources fauniques pour se nourrir (Ford *et al.*, 2006b). Ces changements nuisent en outre à la cohésion sociale et au bien-être mental des résidents en perturbant le cycle traditionnel des

TABLEAU 15 : Sommaire des impacts directs possibles sur la santé associés au climat dans les régions nordiques (*selon* Furgal *et al.*, 2002).

Changement climatique constaté	Impacts directs potentiels sur la santé
Élévation (ordre de grandeur et fréquence) des températures extrêmes	Augmentation de la morbidité et de la mortalité associées à la chaleur et au froid
Augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes (p. ex. tempêtes, etc.) Augmentation des conditions météorologiques non caractéristiques	Augmentation de la fréquence et de la gravité des accidents de chasse et de transport qui entraînent des blessures, la mort ou un stress psychosocial
Augmentation de l'exposition au rayonnement ultraviolet-B	Augmentation des risques de cancer de la peau, de brûlures, de maladies infectieuses, d'affections oculaires (cataractes), d'immuno-suppression

Très peu de documents témoignent des dangers naturels associés aux conditions météorologiques, comme les avalanches, dans les régions nordiques. Des avalanches mortelles et des dommages à la propriété ont été enregistrés au Nunavik (Québec arctique), au Nunavut, dans les Territoires du Nord-Ouest et au Yukon, mais beaucoup moins souvent qu'en Colombie-Britannique ou en Alberta. Des phénomènes tels que l'avalanche de Kangiqsualujjuaq (Nunavik), qui a fait 9 morts et 25 blessés en 1999, illustrent la vulnérabilité des localités du Nord. Depuis quelques années, les résidents ont constaté une fréquence accrue des épisodes de gel et dégel hivernaux, qui créent des conditions favorables au déclenchement de glissements de neige et d'avalanches, surtout dans les régions de l'est de l'Arctique (Nickels *et al.*, 2006). Certaines parties de l'ouest de l'Arctique dans lesquelles un fort réchauffement hivernal a déjà été enregistré (p. ex., les collectivités des régions montagneuses du Yukon) sont particulièrement vulnérables au risque d'avalanche. Les glissements de terrain associés à de fortes pluies et au dégel du pergélisol sont un autre danger naturel lié au climat. D'après certaines collectivités d'Arctic Bay et de la région désignée des Inuvialuits (Nunavut), ces phénomènes, constatés pour la première fois depuis quelques décennies (Ford *et al.*, 2006b; Nickels *et al.*, 2006), rendent les conditions de déplacement de plus en plus dangereuses (Ford et Smit, 2004; Collectivité d'Arctic Bay *et al.*, 2006).

Peu de recherches ont examiné les risques associés à l'évolution du climat sur l'établissement des zones de risque et les stratégies d'adaptation des collectivités nordiques (Tied et Domaas, 2000). Newton *et al.* (2003) ont recommandé de réaliser des recherches appliquées en ce sens en collaboration avec les collectivités nordiques et les groupes autochtones, afin d'y inclure la compréhension et la connaissance locales des conditions climatiques. D'après certaines collectivités des régions montagneuses du Nord, compte tenu de l'augmentation de la menace de dangers naturels associés aux conditions météorologiques, il est de plus en plus important de disposer de personnel de recherche et de sauvetage en nombre suffisant et doté d'une formation adéquate (p. ex., Collectivités du Labrador *et al.*, 2003).

5.2 EFFETS INDIRECTS SUR LA SANTÉ ET LE BIEN-ÊTRE

Les répercussions indirectes d'un climat en évolution sur la santé et le bien-être des collectivités et les résidents du Nord sont attribuables aux changements des conditions de glace, à l'exposition à des maladies émergentes, à la transformation et à la détérioration de certains aspects de la sécurité alimentaire, aux conséquences de la fonte du pergélisol sur l'infrastructure communautaire et aux effets combinés des changements environnementaux et autres sur les habitants du Nord. Furgal *et al.* (sous presse) ont expliqué de façon détaillée les vulnérabilités de la santé humaine ayant des liens indirects avec le climat (*voir* le tableau 16). On trouvera ci-dessous un aperçu général des répercussions sur l'homme des changements de nature climatique dans les territoires nordiques.

Conditions de glace et sécurité

Selon des études scientifiques et les constatations locales des Autochtones, la période sans glace a tendance à s'allonger, tandis que l'épaisseur de la glace et l'étendue de la couverture de la glace de mer diminuent (*voir* la section 3.1; Huntington *et al.*, 2005; Walsh *et al.*, 2005; Ford *et al.*, 2006b; Gearheard *et al.*, 2006; Nickels *et al.*, 2006). Les modèles prévoient une poursuite de ces récentes tendances tout au long du XXI^e^ siècle, la plus forte perte estivale de glace de mer étant prévue dans la mer de Beaufort (Walsh *et al.*, 2005). Flato et Brown (1996) ont estimé que la poursuite du réchauffement provoquera une diminution de 0,06 m de l'épaisseur de la glace de rive et une réduction de la durée de couverture de 7,5 jours/1 °C. Si ces prévisions se révèlent fondées, une localité comme Arctic Bay (Nunavut) pourrait voir sa glace de rive s'amincir de 50 cm et la période de couverture raccourcir de deux mois d'ici 2080 à 2100 (Ford *et al.*, 2006b).

En plus des conséquences énumérées dans les sections 3 et 4, les changements de la couverture de glace sont également importants à la poursuite d'un bon nombre d'activités traditionnelles et de subsistance. La glace de mer constitue une plate-forme stable que les résidents du Nord peuvent emprunter pour se déplacer ou chasser; par ailleurs, elle est essentielle à la reproduction et à la survie de plusieurs espèces marines de l'Arctique (*voir* la section 4.8). Des résidents inuits font état d'une modification récente des caractéristiques de la glace, d'un danger croissant et d'un accès plus difficile aux territoires de chasse et de récolte d'aliments traditionnels dans l'ensemble des territoires (Riedlinger et Berkes, 2001; Huntington *et al.*, 2005; Ford *et al.*, 2006b; Nickels *et al.*, 2006). L'augmentation perçue du nombre d'accidents et de noyades associés aux conditions glacielles (Lafortune *et al.*, 2004; Barron, 2006) pourrait se refléter dans les statistiques recueillies, lesquelles indiquent une incidence accrue de décès et de blessures accidentels dans les petits établissements des Territoires du Nord-Ouest (Government of the Northwest Territories, 2004). La vitesse et le volume accrus de l'écoulement provenant de la fonte de la glace et de la neige créent un danger pour les jeunes enfants dans les collectivités nordiques. Parmi les impacts économiques qui découlent des changements de l'état de la glace figurent la perte de revenus due à la baisse des récoltes de phoques ou de narvals, les dommages causés à l'équipement et la difficulté d'accéder aux ressources fauniques pour se nourrir (Ford *et al.*, 2006b). Ces changements nuisent en outre à la cohésion sociale et au bien-être mental des résidents en perturbant le cycle traditionnel des

TABLEAU 16 : Sommaire des impacts indirects possibles sur la santé associés au climat dans les régions nordiques (*selon* Furgal *et al.*, 2002).

Changement climatique constaté	Impacts indirects potentiels sur la santé
Élévation (ordre de grandeur et fréquence) des températures extrêmes	Augmentation de l'incidence et de la transmission de maladies infectieuses, perturbations psychosociales
Diminution de la superficie, de la stabilité et de la durée de la couverture de glace	Augmentation de la fréquence et de la gravité des accidents de chasse et de transport qui entraînent des blessures, la mort ou un stress psychosocial Diminution de l'accessibilité des aliments traditionnels, réduction de la sécurité alimentaire, érosion des valeurs sociales et culturelles associées à la préparation, au partage et à la consommation d'aliments traditionnels
Transformation de la composition de la neige (augmentation de l'humidité entraînant une baisse de la qualité de la neige pour la construction d'igloos)	Difficulté de construire des abris (igloos) pour assurer la sécurité des déplacements sur terre
Accroissement de l'aire de répartition et de l'activité des agents infectieux nouveaux ou déjà présents (p. ex. les mouches piqueuses)	Augmentation de l'exposition aux maladies à transmission vectorielle, nouvelles ou déjà présentes
Changement de l'écologie locale des agents infectieux d'origine hydrique ou alimentaire (introduction de nouveaux parasites et baisse perçue de la qualité des sources naturelles)	Augmentation de l'incidence de maladies diarrhéiques et autres maladies infectieuses Émergence de nouvelles maladies
Augmentation de la fonte et de l'instabilité du pergélisol	Effets négatifs sur la stabilité de l'infrastructure de santé publique, de logement et de transport Perturbations psychosociales associées au déménagement (partiel ou complet) des collectivités
Élévation du niveau de la mer	Perturbations psychosociales associées aux dommages causés à l'infrastructure et au déménagement (partiel ou complet) des collectivités
Changements de la pollution atmosphérique (contaminants, pollens et spores)	Incidence accrue de maladies respiratoires et cardiovasculaires, augmentation de l'exposition aux contaminants environnementaux et répercussions subséquentes

pratiques liées à la terre (p. ex., Furgal *et al.*, 2002; Berner *et al.*, 2005). On signale que des changements semblables touchent les glaces en eau douce et l'accès aux ressources halieutiques, éléments essentiels pour beaucoup de populations autochtones et non autochtones du Nord (*voir* la section 4.7).

Pour s'adapter à l'évolution des conditions glacielles, les habitants ont dû modifier leurs comportements personnels et adopter de nouvelles technologies. Plusieurs collectivités déclarent avoir modifié leurs activités de chasse en réaction aux changements des conditions de la glace sur la mer, les lacs ou les cours d'eau. La collectivité d'Arctic Bay (Nunavut) a reporté une partie de son quota de chasse au narval du printemps à l'été afin d'atténuer les risques pour la sécurité liés à une rupture des glaces hâtive et moins prévisible, tout en augmentant les chances de récolter des animaux (Armitage, 2005; Collectivité d'Arctic Bay *et al.*, 2005). Certains chasseurs emportent désormais de petites embarcations au cas où ils resteraient pris sur des glaces à la dérive (Ford *et al.*, 2006b). Les chasseurs des collectivités côtières signalent qu'ils empruntent de nouvelles routes terrestres ou littorales pour accéder à des zones autrefois accessibles en circulant sur la glace de mer (Tremblay *et al.*, 2006). Certains résidents ont commencé à consulter l'imagerie satellitaire de l'état des glaces sur Internet avant de se rendre à la lisière de la banquise et nombre d'entre eux emportent un système de positionnement par satellites pour augmenter l'efficacité des déplacements et de la chasse et pour en atténuer les risques (Collectivités du Nunavut *et al.*, 2005; Ford *et al.*, 2006b; Gearheard *et al.*, 2006).

Réchauffement et maladies émergentes

Il y a, à l'heure actuelle, de nombreuses zoonoses chez des espèces hôtes de l'Arctique (p. ex., l'infection par *Trichinella* chez le morse et l'ours blanc et l'infection par *Cryptosporidium* chez les mammifères terrestres et marins), et certaines régions ont déjà signalé des cas majeurs de zoonoses chez les humains dans le passé (Proulx *et al.*, 2000). La relation entre les zoonoses et la température est confirmée par l'augmentation des cas de maladie et d'infections parasitaires chez les mammifères terrestres et marins, les oiseaux, les poissons et les mollusques et crustacés des régions arctiques pendant les années chaudes associées au phénomène El Niño-oscillation australe (El Niño-Southern Oscillation; Kutz *et al.*, 2004). Il est probable que l'allongement de la saison chaude qui résultera d'un climat en évolution transformera le type et l'incidence de maladies susceptibles de se transmettre de ces espèces aux résidents du Nord (Bradley *et al.*, 2005). On doit aussi prévoir des changements dans la manifestation géographique de ces maladies.

Dans les Territoires du Nord-Ouest, les maladies d'origine alimentaire et hydrique les plus courantes sont la giardiase (contractée en buvant de l'eau contaminée) et l'infection à *Salmonella* et aux campylobactéries, qu'on contracte habituellement en mangeant des aliments contaminés crus ou insuffisamment cuits (Government of the Northwest Territories, 2005). Depuis quelques années, malgré la consommation de certains aliments traditionnellement mangés crus dans les collectivités autochtones, le taux d'infection à *Salmonella* et au campylobactéries a chuté dans les Territoires du Nord-Ouest (Government of the Northwest Territories, 2005). Cependant, des collectivités du centre et de l'est de l'Arctique ont constaté une multiplication des parasites chez le caribou depuis quelques années, constatation corroborée d'ailleurs par des études sur le bœuf musqué (Kutz *et al.*, 2004), et ils ont manifesté leur inquiétude quant à la comestibilité de cette viande (Nickels *et al.*, 2006).

TABLEAU 16 : Sommaire des impacts indirects possibles sur la santé associés au climat dans les régions nordiques (*selon* Furgal *et al.*, 2002).

Changement climatique constaté	Impacts indirects potentiels sur la santé
Élévation (ordre de grandeur et fréquence) des températures extrêmes	Augmentation de l'incidence et de la transmission de maladies infectieuses, perturbations psychosociales
Diminution de la superficie, de la stabilité et de la durée de la couverture de glace	**Augmentation de la fréquence et de la gravité des accidents de chasse et de transport qui entraînent des blessures, la mort ou un stress psychosocial** **Diminution de l'accessibilité des aliments traditionnels, réduction de la sécurité alimentaire, érosion des valeurs sociales et culturelles associées à la préparation, au partage et à la consommation d'aliments traditionnels**
Transformation de la composition de la neige (augmentation de l'humidité entraînant une baisse de la qualité de la neige pour la construction d'igloos)	Difficulté de construire des abris (igloos) pour assurer la sécurité des déplacements sur terre
Accroissement de l'aire de répartition et de l'activité des agents infectieux nouveaux ou déjà présents (p. ex. les mouches piqueuses)	**Augmentation de l'exposition aux maladies à transmission vectorielle, nouvelles ou déjà présentes**
Changement de l'écologie locale des agents infectieux d'origine hydrique ou alimentaire (introduction de nouveaux parasites et baisse perçue de la qualité des sources naturelles)	Augmentation de l'incidence de maladies diarrhéiques et autres maladies infectieuses Émergence de nouvelles maladies
Augmentation de la fonte et de l'instabilité du pergélisol	**Effets négatifs sur la stabilité de l'infrastructure de santé publique, de logement et de transport** **Perturbations psychosociales associées au déménagement (partiel ou complet) des collectivités**
Élévation du niveau de la mer	Perturbations psychosociales associées aux dommages causés à l'infrastructure et au déménagement (partiel ou complet) des collectivités
Changements de la pollution atmosphérique (contaminants, pollens et spores)	**Incidence accrue de maladies respiratoires et cardiovasculaires, augmentation de l'exposition aux contaminants environnementaux et répercussions subséquentes**

pratiques liées à la terre (p. ex,. Furgal *et al.*, 2002; Berner *et al.*, 2005). On signale que des changements semblables touchent les glaces en eau douce et l'accès aux ressources halieutiques, éléments essentiels pour beaucoup de populations autochtones et non autochtones du Nord (*voir* la section 4.7).

Pour s'adapter à l'évolution des conditions glacielles, les habitants ont dû modifier leurs comportements personnels et adopter de nouvelles technologies. Plusieurs collectivités déclarent avoir modifié leurs activités de chasse en réaction aux changements des conditions de la glace sur la mer, les lacs ou les cours d'eau. La collectivité d'Arctic Bay (Nunavut) a reporté une partie de son quota de chasse au narval du printemps à l'été afin d'atténuer les risques pour la sécurité liés à une rupture des glaces hâtive et moins prévisible, tout en augmentant les chances de récolter des animaux (Armitage, 2005; Collectivité d'Arctic Bay *et al.*, 2005). Certains chasseurs emportent désormais de petites embarcations au cas où ils resteraient pris sur des glaces à la dérive (Ford *et al.*, 2006b). Les chasseurs des collectivités côtières signalent qu'ils empruntent de nouvelles routes terrestres ou littorales pour accéder à des zones autrefois accessibles en circulant sur la glace de mer (Tremblay *et al.*, 2006). Certains résidents ont commencé à consulter l'imagerie satellitaire de l'état des glaces sur Internet avant de se rendre à la lisière de la banquise et nombre d'entre eux emportent un système de positionnement par satellites pour augmenter l'efficacité des déplacements et de la chasse et pour en atténuer les risques (Collectivités du Nunavut *et al.*, 2005; Ford *et al.*, 2006b; Gearheard *et al.*, 2006).

Réchauffement et maladies émergentes

Il y a, à l'heure actuelle, de nombreuses zoonoses chez des espèces hôtes de l'Arctique (p. ex., l'infection par *Trichinella* chez le morse et l'ours blanc et l'infection par *Cryptosporidium* chez les mammifères terrestres et marins), et certaines régions ont déjà signalé des cas majeurs de zoonoses chez les humains dans le passé (Proulx *et al.*, 2000). La relation entre les zoonoses et la température est confirmée par l'augmentation des cas de maladie et d'infections parasitaires chez les mammifères terrestres et marins, les oiseaux, les poissons et les mollusques et crustacés des régions arctiques pendant les années chaudes associées au phénomène El Niño-oscillation australe (El Niño-Southern Oscillation; Kutz *et al.*, 2004). Il est probable que l'allongement de la saison chaude qui résultera d'un climat en évolution transformera le type et l'incidence de maladies susceptibles de se transmettre de ces espèces aux résidents du Nord (Bradley *et al.*, 2005). On doit aussi prévoir des changements dans la manifestation géographique de ces maladies.

Dans les Territoires du Nord-Ouest, les maladies d'origine alimentaire et hydrique les plus courantes sont la giardiase (contractée en buvant de l'eau contaminée) et l'infection à *Salmonella* et aux campylobactéries, qu'on contracte habituellement en mangeant des aliments contaminés crus ou insuffisamment cuits (Government of the Northwest Territories, 2005). Depuis quelques années, malgré la consommation de certains aliments traditionnellement mangés crus dans les collectivités autochtones, le taux d'infection à *Salmonella* et au campylobactéries a chuté dans les Territoires du Nord-Ouest (Government of the Northwest Territories, 2005). Cependant, des collectivités du centre et de l'est de l'Arctique ont constaté une multiplication des parasites chez le caribou depuis quelques années, constatation corroborée d'ailleurs par des études sur le bœuf musqué (Kutz *et al.*, 2004), et ils ont manifesté leur inquiétude quant à la comestibilité de cette viande (Nickels *et al.*, 2006).

Comme les hausses de température favorisent la survie hivernale et la répartition de certaines espèces d'insectes, le risque que représentent les maladies à transmission vectorielle d'origine humaine et animale endémiques à la région s'accroît, tout comme les possibilités d'introduction de nouvelles maladies dans les régions arctiques (Parkinson et Butler, 2005). Dans l'ouest de l'Arctique, des résidents inuvialuits ont signalé un nombre croissant d'insectes et d'espèces jamais observées auparavant à cet endroit, y compris des mouches piqueuses et des abeilles (Collectivités de la région des Inuvialuits *et al.*, 2005).

Sécurité alimentaire

Beaucoup de résidents du Nord se nourrissent d'une combinaison de produits alimentaires importés et d'aliments récoltés sur place (aliments traditionnels). Ces aliments traditionnels provenant du sol et de la mer, aussi bien des espèces animales que végétales, fournissent une grande part de l'énergie et des protéines nécessaires, aident les gens à satisfaire ou à dépasser leurs besoins nutritionnels quotidiens en plusieurs vitamines et éléments essentiels, aident l'organisme à lutter contre certains types de maladies cardiovasculaires et peuvent contribuer à atténuer les effets toxiques des contaminants (Blanchet *et al.*, 2000; Kuhnlein *et al.*, 2000; Van Oostdam *et al.*, 2005). La proportion du régime alimentaire que représentent les aliments traditionnels est beaucoup plus élevée chez les Autochtones et les personnes âgées que chez les autres résidents (Kuhnlein *et al.*, 2000; Van Oostdam *et al.*, 2005).

Par ailleurs, la chasse, la pêche et la cueillette occupent une place prédominante dans l'économie monétaire des collectivités nordiques et sont importantes pour préserver les relations sociales et l'identité culturelle des populations autochtones (Nuttall *et al.*, 2005). Les collectivités isolées, dont l'accès à des produits du marché frais et abordables est très limité, ont un plus grand besoin d'aliments traditionnels que les autres (*voir* la section 2.2 et le tableau 7). Malgré l'importance de ces aliments, les populations nordiques ont tendance à s'en éloigner pour privilégier de plus en plus les produits alimentaires du commerce, une tendance particulièrement marquée chez les jeunes et les résidents des collectivités qui y ont plus facilement accès (Receveur *et al.*, 1997).

Les modifications constatées dans la répartition des animaux, l'écologie locale et l'accès des habitants du Nord aux espèces comestibles traditionnelles par suite du changement climatique ont une incidence marquée sur la sécurité des aliments (Furgal *et al.*, 2002; Ford *et al.*, 2006b; Guyot *et al.*, 2006; Pratley, 2006). On signale que certains changements liés au climat qui touchent les espèces terrestres et marines (*voir* la section 4.8) ont une incidence sur la récolte d'espèces sauvages à certains endroits. Des résidents inuvialuits, par exemple, indiquent que les changements de la répartition des poissons et d'autres espèces sauvages, ajoutés aux violentes tempêtes et aux changements de la glace de mer et de la stabilité du pergélisol, rendent la récolte plus difficile qu'autrefois (Riedlinger, 2001). De nombreuses autres collectivités signalent aussi que la sécurité des aliments traditionnels souffre du changement des conditions environnementales (p. ex., Berkes et Jolly, 2002; Huntington *et al.*, 2005; Ford *et al.*, 2006b; Nickels *et al.*, 2006). Ces difficultés ne sont pas exclusives aux collectivités côtières. Les résidents de Beaver Creek (Yukon) et la Première nation Deh Gah Got'ie de Fort Providence (Territoires du Nord-Ouest), par exemple, ont également été témoins de changements d'ordre climatique qui touchent certains aspects de leur récolte d'aliments traditionnels (Guyot *et al.*, 2006). Les discussions des impacts du changement climatique sur les moyens de subsistance des peuples autochtones concernent en premier lieu le maintien des relations entre l'homme et ses ressources alimentaires, et doivent tenir compte du fait que ces impacts risquent de provoquer des changements sociaux irréversibles (Nuttall *et al.*, 2005).

Par ailleurs, les aliments traditionnels sont la principale source d'exposition aux contaminants environnementaux pour les résidents du Nord (Van Oostdam *et al.*, 2005). Le changement climatique favorisera probablement le transport des contaminants, leur dépôt et leur absorption par les espèces sauvages de l'Arctique, ce qui aura des conséquences sur l'exposition de l'homme à ces contaminants (*voir* la section 4.8; Kraemer *et al.*, 2005). On connaît les effets nocifs des substances chimiques en cause sur les fonctions immunitaires et neuromotrices chez les enfants (Arctic Monitoring and Assessment Program 2003a; Després *et al.*, 2005). Le degré actuel d'exposition au mercure et à d'autres contaminants organochlorés de certains segments de la population du Nunavut dépasse le niveau recommandé de sécurité (Van Oostdam *et al.*, 2005).

La hausse des températures et l'allongement de la période de croissance offrent des possibilités de développement et de mise en valeur d'une agriculture nordique de petite échelle, surtout dans l'ouest de l'Arctique. En exploitant ces possibilités, on pourrait créer de nouvelles sources locales, plus rentables que les précédentes, de certains aliments. Le réchauffement aura, en outre, pour effet de rallonger la période sans glace et d'accroître la navigabilité des eaux nordiques (voir la section 4.5), ce qui permettrait éventuellement d'augmenter la fréquence des arrivages de produits dans les différentes localités et de réduire les coûts associés à certains produits du commerce.

Les individus s'adaptent de différentes façons aux difficultés d'accès aux aliments traditionnels, notamment en modifiant le calendrier de leurs activités de chasse et en changeant de mode de transport (p. ex., les véhicules tout terrain remplacent les motoneiges) pour atteindre les territoires de chasse et de pêche. Dans toutes les régions nordiques, des résidents ont affirmé avoir remplacé sur leur calendrier habituel d'activités de chasse des espèces maintenant difficiles à trouver par d'autres plus accessibles. Dans la localité de Kugaaruk (Nunavut), des résidents signalent que, lorsqu'il est trop dangereux de se déplacer sur la glace, les gens vont maintenant à la pêche au lieu de chasser le phoque sur la glace. Certaines régions ont indiqué qu'elles doivent avoir plus souvent recours au programme d'installation de congélateurs collectifs (Collectivités du Nunavik *et al.*, 2005; Collectivités de la région désignée des Inuvialuits *et al.*, 2005) ou qu'elles doivent mettre en place des programmes d'échanges intercommunautaires (p. ex., Collectivités du Nunavik *et al.*, 2005; Collectivité d'Arctic Bay *et al.*, 2006). Les coûts supplémentaires associés à quelques unes de ces initiatives (p. ex., l'achat d'embarcations plus grandes, la consommation accrue de carburant pour atteindre les nouvelles voies de migration du caribou) n'ont pas fait l'objet d'évaluations, même s'ils ont des conséquences sur les budgets familiaux.

Qualité de l'eau

L'accès aux ressources en eau douce et leur qualité suscitent de graves préoccupations dans de nombreuses localités du Nord (*voir* l'encadré 1). Au Yukon, 25 p. 100 des résidents des Premières nations ont déclaré ne pas disposer d'eau de boisson salubre (Council of Yukon First Nations, 2006). Environ 2 p. 100 des résidents des Premières nations du Yukon tirent leur eau à usage domestique directement d'une source naturelle (Council of Yukon First Nations, 2006). On prévoit que les effets du climat sur le volume, la qualité et l'accessibilité des ressources en eau potable toucheront surtout les petites localités isolées du Nord, dont quelques-unes ont des problèmes à utiliser efficacement les systèmes de traitement municipaux (Moquin, 2005). Dans l'ouest de l'Arctique, on a signalé que l'élévation des températures a favorisé la croissance d'algues et de végétaux qui nuisent à la qualité de l'eau de source non traitée.

ENCADRÉ 1

Constatations locales des changements touchant les ressources hydriques

« L'eau douce n'est plus aussi bonne qu'avant. Elle a un goût marécageux parce qu'elle reste trop immobile. Il y a beaucoup moins d'eau dans les ruisseaux maintenant… Certaines sources d'eau potable ont disparu. » (Résident de Tuktoyaktuk; Collectivité de Tuktoyaktuk *et al.*, 2005 [traduction])

« Les glaciers, qui autrefois descendaient jusqu'à la mer, ont tous reculé; certains ne sont même plus visibles. La neige, qui demeurait toute l'année dans les coins ombragés, a commencé à fondre; on ne peut plus compter sur elle pour s'approvisionner en eau durant l'été … Les Inuits ont vraiment besoin de cette eau pour leur thé. » (Pijamini, Nunavut Tunngavik Incorporated Elders Conference, 2001 [traduction])

La baisse de la qualité et de l'accessibilité de l'eau pousse les résidents du Nord à emporter de plus en plus d'eau embouteillée pour leurs expéditions de chasse et de pêche (Nickels *et al.*, 2006). Plusieurs collectivités ont indiqué qu'il faut accroître la fréquence des essais de qualité de l'eau, aussi bien pour l'eau de source non traitée que pour celle des réseaux municipaux, afin d'en garantir la salubrité et de rassurer les consommateurs d'eau potable.

Infrastructure communautaire

Les changements que subit le pergélisol risquent d'avoir d'importantes conséquences pour divers ouvrages d'infrastructure publique des établissements nordiques, y compris les réseaux d'égout et de traitement des eaux usées, les réseaux de distribution d'eau par canalisations, les logements et autres bâtiments et les routes d'accès (Warren *et al.*, 2005). Les problèmes actuels de surpeuplement, de qualité et de coût des logements que connaissent de nombreux résidents du Nord compliquent davantage la situation. En 2001, 54 p. 100 des résidents du Nunavut, 35 p. 100 de ceux de la région désignée des Inuvialuits, aux Territoires du Nord-Ouest, et 43 p. 100 de ceux du Yukon vivaient dans des logements surpeuplés (Statistique Canada, 2001; Council of Yukon First Nations, 2006), tandis que 16 p. 100 des logements des Territoires du Nord-Ouest et 33 p. 100 de ceux du Yukon avaient besoin de réparations majeures, comparativement à la moyenne nationale de 8 p. 100 (Statistique Canada, 2001; Government of the Northwest Territories, 2005; Council of Yukon First Nations, 2006). Les petites localités sont les plus durement touchées par ces problèmes (Government of the Northwest Territories, 2005).

Les localités côtières situées sur des terres basses, dans les zones à haut risque de fonte du pergélisol (c.-à-d. là où on trouve beaucoup de glace massive dans le sol), sont les plus susceptibles de voir leur infrastructure subir des dommages (*voir* Smith et Burgess, 2004). Quelques collectivités de ces régions font déjà état de dommages à leurs bâtiments causés par les forces combinées de l'érosion côtière et de la dégradation du pergélisol (*voir* la section 3.7; Collectivité d'Aklavik *et al.*, 2005; Collectivité de Tuktoyaktuk *et al.*, 2005).

La dégradation du pergélisol et l'érosion côtière ont aussi des endommagé d'importants sites culturels (Colette, 2007), impacts susceptibles un jour d'obliger certaines collectivités à déménager leurs installations, en tout ou en partie (Barrow *et al.*, 2004). Bien qu'à certains endroits, comme à Tuktoyaktuk, on ait solidifié la côte pour atténuer l'érosion associée à l'intensification des ondes de tempête, à la réduction de la couverture de glace de mer et à la hausse du niveau de l'eau, la solution reste temporaire. La collectivité de Tuktoyaktuk a entrepris des consultations sur un éventuel plan de déplacement de certaines parties de ses installations (Collectivité de Tuktoyaktuk *et al.*, 2005). Dans de nombreuses localités, les résidents réagissent à l'érosion en éloignant les bâtiments de la côte (Collectivités de la région désignée des Inuvialuits *et al.*, 2005).

Dans l'une des rares études réalisées sur les coûts d'adaptation de l'infrastructure, Hoeve *et al.* (2006) ont dressé la liste des fondations de bâtiments de six collectivités des Territoires du Nord-Ouest et, à l'aide d'une méthode à base de scénarios, ils ont évalué le coût d'adaptation pour l'ensemble du territoire. Si on présume que les localités choisies étaient représentatives de celles de l'ensemble des Territoires du Nord-Ouest, l'évaluation des dépenses initiales associées à l'adaptation pourrait atteindre jusqu'à 420 millions de dollars (étant donné la situation du pire scénario possible, soit dans le cas où toutes les fondations auraient besoin de réfection).

Multiplicité des stress et des impacts

Les changements environnementaux agissent aussi sur la santé et le bien-être mentaux des nombreux résidents du Nord dont le gagne-pain et le mode de vie sont étroitement associés au milieu local. C'est particulièrement le cas pour environ la moitié des habitants de l'Arctique, dont la culture, la langue et l'identité sont inextricablement liées à la terre et à la mer de par leur patrimoine et leur identité autochtones (*voir* les encadrés 2 à 4). La perturbation des cycles et des habitudes de chasse traditionnels (Ford *et al.*, 2006b; Nickels *et al.*, 2006), la baisse de la capacité des aînés de prévoir les conditions météorologiques et de transmettre l'information aux autres membres de la collectivité, et l'inquiétude de voir disparaître des cimetières et des logements sous l'effet de l'érosion côtière (Collectivité de Tuktoyaktuk *et al.*, 2005) sont quelques exemples des perturbations sociales qui peuvent toucher des collectivités déjà aux prises avec d'importantes transformations dues à des forces internes et externes. Des chercheurs ont associé le stress qui résulte de ces changements multiples à certains symptômes de détresse psychosociale, mentale et sociale, comme l'alcoolisme, la violence et le suicide (Berner *et al.*, 2005; Curtis *et al.*, 2005).

Chaque région du Nord du Canada est unique en ce qui a trait aux forces environnementales, sociales, culturelles, économiques et politiques qui régissent le changement aux échelles locale et

régionale. Cet état de choses concerne particulièrement les régions et localités qui connaissent divers types de changements accélérés dans plusieurs secteurs à la fois (Chapin *et al.*, 2005). Dans plusieurs régions, par exemple, la place grandissante de l'économie basée sur les salaires a réduit non seulement le besoin de chasse, de pêche et de cueillette, mais aussi le temps disponible pour pratiquer ces activités. Dès lors, il s'est développé et transmis moins de connaissances traditionnelles et de respect pour l'environnement, au détriment des jeunes générations, et les avantages de la consommation d'aliments locaux pour la santé s'en sont trouvés réduits. L'économie basée sur les salaires apporte cependant des ressources permettant aux gens de s'adapter en achetant de l'équipement de chasse (p. ex., des embarcations, des VTT, des motoneiges) qui leur permet de chasser un plus grand nombre d'espèces sur un territoire plus vaste. Les divers aspects de l'évolution du climat peuvent renforcer, affaiblir ou modifier les principaux facteurs de changement dans une localité ou région donnée (McCarthy *et al.*, 2005). Après avoir examiné les principaux facteurs et leurs interactions, Chapin *et al.* (2005) ont conclu que la détérioration des liens culturels avec les activités traditionnelles et de subsistance, et tout ce qu'elles représentent, est la cause la plus alarmante de la diminution du bien-être constatée à l'heure actuelle chez les Autochtones des régions arctiques circumpolaires (Chapin *et al.*, 2005).

5.3 CAPACITÉ D'ADAPTATION

L'adaptation se fait au niveau de l'individu, de la collectivité ou du système et aux échelles locale, régionale ou nationale (*voir* le chapitre 10; Gouvernement du Canada, 2001). Dans de nombreux cas, les mesures d'adaptation les plus efficaces et durables se prennent à l'échelle locale et impliquent directement les personnes concernées (Clark, 2006; Furgal et Seguin, 2006). Les institutions qui facilitent les relations entre différentes échelles aident à accroître la résilience face au changement (Berkes *et al.*, 2005). À ce jour, les études de l'adaptation réalisées sur le Nord du Canada portent principalement sur les collectivités isolées regroupant surtout des résidents autochtones (p. ex., Berkes et Jolly, 2002, et des chapitres

ENCADRÉ 2

Points de vue autochtones sur les impacts du changement climatique et l'adaptation nécessaire : les préoccupations et les priorités des Inuits (préparé par l'Inuit Tapiriit Kanatami)

Le Canada compte environ 53 400 Inuits, regroupés dans la région désignée des Inuvialuits, sur la mer de Beaufort; dans les régions de Kitikmeot, Kivalliq et Qikiqtani, au Nunavut; au Nunavik, dans le nord du Québec; et au Nunatsiavut, dans le nord du Labrador (Statistique Canada, 2001). Les collectivités inuites partagent plusieurs caractéristiques qui les distinguent des autres Autochtones du Nord et des populations du sud du Canada et qui ont une grande incidence sur leur vulnérabilité à l'évolution du climat.

Dans presque tous les cas, les collectivités inuites ont été établies au cours des 50 à 60 dernières années, sont situées sur la côte de l'Arctique ou de l'Atlantique, ne disposent d'aucun accès routier et dépendent de la santé et de la gestion des terres et des océans pour soutenir un mode de vie fondé principalement sur les activités et les ressources marines. Avant de se regrouper en collectivités, la majorité des Inuits étaient nomades, vivant dans des camps de chasse dispersés dans l'Arctique et suivant les espèces sauvages en migration. Aujourd'hui, les collectivités tentent de trouver le moyen de fournir une infrastructure et des services suffisants pour répondre aux besoins existants tout en anticipant les pressions supplémentaires qui s'exerceront sur une population jeune en croissance rapide. Comme les autres peuples autochtones du Canada, les Inuits ont vu leur société, leur langue et leur culture changer rapidement et fondamentalement depuis le moment où a eu lieu le contact initial, et ces changements se poursuivent. D'importants écarts séparent les Inuits des autres Canadiens dans des domaines comme la santé, le niveau de scolarisation secondaire et postsecondaire, les besoins de logement, l'accès aux initiatives de développement préscolaire, le taux d'incarcération, le taux d'emploi et le revenu.

Les institutions politiques et administratives innovantes mises sur pied par les Inuits, sous la forme des quatre accords sur les revendications territoriales visant des territoires inuits traditionnels, jouent un rôle essentiel pour résoudre les difficultés et saisir les occasions liées au changement climatique. Le Nunaat inuit (les terres inuites visées par les quatre accords) représente environ 40 p. 100 de la masse terrestre du Canada et une proportion encore plus grande de la superficie totale, terrestre et marine, du Canada. Il comprend un peu moins de la moitié des côtes du Canada, la quasi-totalité d'un territoire (le Nunavut) et des parties de deux autres territoires (les Territoires du Nord-Ouest et le Yukon) et de deux provinces (le Québec et Terre-Neuve-et-Labrador). À titre de propriétaires fonciers de quelques-unes des régions du pays les plus sensibles et les plus vulnérables aux impacts du changement climatique, les Inuits ont un rôle essentiel à jouer dans la résolution de ce problème crucial.

Par l'entremise de leurs organisations régionales, nationales et internationales, les Inuits ont pris des mesures pour déterminer les impacts de la variabilité et de l'évolution du climat qui ont une importance particulière pour leurs populations; le tableau 17 en donne un aperçu. L'accord de partenariat conclu le 31 mai 2005 entre les Inuits du Canada et le gouvernement fédéral comprend un plan d'action des Inuits qui décrit les activités et les initiatives à réaliser dans un délai de trois ans. Une des plus importantes questions abordées par ce plan est celle de la variabilité et du changement du climat. À cet égard, le plan demande : 1) un processus stratégique qui intègre les connaissances inuites et scientifiques; 2) la mise en place d'un processus dirigé par les Inuits pour traiter des préoccupations qui leur sont propres; 3) une collaboration accrue des Inuits et du gouvernement du Canada dans l'examen de moyens d'atténuer le changement climatique et de s'y adapter, aux échelles nationale et internationale; 4) un processus de suivi des recommandations de l'*Arctic Climate Impact Assessment*; 5) l'élaboration d'outils de renforcement durable des capacités pour soutenir le travail de recherche et de planification effectué par les Inuits relativement aux impacts et à l'adaptation; 6) l'établissement d'une stratégie sur le changement climatique dans l'Arctique canadien qui vise à la fois l'atténuation et l'adaptation. Le plan d'action insiste en outre sur l'importance de la collaboration dans les grandes activités internationales en matière de changement climatique, comme celles qui découlent de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), de la Convention sur la diversité biologique (CDB), de la Commission nord-américaine de coopération environnementale et du Conseil de l'Arctique.

Qualité de l'eau

L'accès aux ressources en eau douce et leur qualité suscitent de graves préoccupations dans de nombreuses localités du Nord (*voir* l'encadré 1). Au Yukon, 25 p. 100 des résidents des Premières nations ont déclaré ne pas disposer d'eau de boisson salubre (Council of Yukon First Nations, 2006). Environ 2 p. 100 des résidents des Premières nations du Yukon tirent leur eau à usage domestique directement d'une source naturelle (Council of Yukon First Nations, 2006). On prévoit que les effets du climat sur le volume, la qualité et l'accessibilité des ressources en eau potable toucheront surtout les petites localités isolées du Nord, dont quelques-unes ont des problèmes à utiliser efficacement les systèmes de traitement municipaux (Moquin, 2005). Dans l'ouest de l'Arctique, on a signalé que l'élévation des températures a favorisé la croissance d'algues et de végétaux qui nuisent à la qualité de l'eau de source non traitée.

ENCADRÉ 1

Constatations locales des changements touchant les ressources hydriques

« L'eau douce n'est plus aussi bonne qu'avant. Elle a un goût marécageux parce qu'elle reste trop immobile. Il y a beaucoup moins d'eau dans les ruisseaux maintenant… Certaines sources d'eau potable ont disparu. » (Résident de Tuktoyaktuk; Collectivité de Tuktoyaktuk *et al.*, 2005 [traduction])

« Les glaciers, qui autrefois descendaient jusqu'à la mer, ont tous reculé; certains ne sont même plus visibles. La neige, qui demeurait toute l'année dans les coins ombragés, a commencé à fondre; on ne peut plus compter sur elle pour s'approvisionner en eau durant l'été … Les Inuits ont vraiment besoin de cette eau pour leur thé. » (Pijamini, Nunavut Tunngavik Incorporated Elders Conference, 2001 [traduction])

La baisse de la qualité et de l'accessibilité de l'eau pousse les résidents du Nord à emporter de plus en plus d'eau embouteillée pour leurs expéditions de chasse et de pêche (Nickels *et al.*, 2006). Plusieurs collectivités ont indiqué qu'il faut accroître la fréquence des essais de qualité de l'eau, aussi bien pour l'eau de source non traitée que pour celle des réseaux municipaux, afin d'en garantir la salubrité et de rassurer les consommateurs d'eau potable.

Infrastructure communautaire

Les changements que subit le pergélisol risquent d'avoir d'importantes conséquences pour divers ouvrages d'infrastructure publique des établissements nordiques, y compris les réseaux d'égout et de traitement des eaux usées, les réseaux de distribution d'eau par canalisations, les logements et autres bâtiments et les routes d'accès (Warren *et al.*, 2005). Les problèmes actuels de surpeuplement, de qualité et de coût des logements que connaissent de nombreux résidents du Nord compliquent davantage la situation. En 2001, 54 p. 100 des résidents du Nunavut, 35 p. 100 de ceux de la région désignée des Inuvialuits, aux Territoires du Nord-Ouest, et 43 p. 100 de ceux du Yukon vivaient dans des logements surpeuplés (Statistique Canada, 2001; Council of Yukon First Nations, 2006), tandis que 16 p. 100 des logements des Territoires du Nord-Ouest et 33 p. 100 de ceux du Yukon avaient besoin de réparations majeures, comparativement à la moyenne nationale de 8 p. 100 (Statistique Canada, 2001; Government of the Northwest Territories, 2005; Council of Yukon First Nations, 2006). Les petites localités sont les plus durement touchées par ces problèmes (Government of the Northwest Territories, 2005).

Les localités côtières situées sur des terres basses, dans les zones à haut risque de fonte du pergélisol (c.-à-d. là où on trouve beaucoup de glace massive dans le sol), sont les plus susceptibles de voir leur infrastructure subir des dommages (*voir* Smith et Burgess, 2004). Quelques collectivités de ces régions font déjà état de dommages à leurs bâtiments causés par les forces combinées de l'érosion côtière et de la dégradation du pergélisol (*voir* la section 3.7; Collectivité d'Aklavik *et al.*, 2005; Collectivité de Tuktoyaktuk *et al.*, 2005).

La dégradation du pergélisol et l'érosion côtière ont aussi des endommagé d'importants sites culturels (Colette, 2007), impacts susceptibles un jour d'obliger certaines collectivités à déménager leurs installations, en tout ou en partie (Barrow *et al.*, 2004). Bien qu'à certains endroits, comme à Tuktoyaktuk, on ait solidifié la côte pour atténuer l'érosion associée à l'intensification des ondes de tempête, à la réduction de la couverture de glace de mer et à la hausse du niveau de l'eau, la solution reste temporaire. La collectivité de Tuktoyaktuk a entrepris des consultations sur un éventuel plan de déplacement de certaines parties de ses installations (Collectivité de Tuktoyaktuk *et al.*, 2005). Dans de nombreuses localités, les résidents réagissent à l'érosion en éloignant les bâtiments de la côte (Collectivités de la région désignée des Inuvialuits *et al.*, 2005).

Dans l'une des rares études réalisées sur les coûts d'adaptation de l'infrastructure, Hoeve *et al.* (2006) ont dressé la liste des fondations de bâtiments de six collectivités des Territoires du Nord-Ouest et, à l'aide d'une méthode à base de scénarios, ils ont évalué le coût d'adaptation pour l'ensemble du territoire. Si on présume que les localités choisies étaient représentatives de celles de l'ensemble des Territoires du Nord-Ouest, l'évaluation des dépenses initiales associées à l'adaptation pourrait atteindre jusqu'à 420 millions de dollars (étant donné la situation du pire scénario possible, soit dans le cas où toutes les fondations auraient besoin de réfection).

Multiplicité des stress et des impacts

Les changements environnementaux agissent aussi sur la santé et le bien-être mentaux des nombreux résidents du Nord dont le gagne-pain et le mode de vie sont étroitement associés au milieu local. C'est particulièrement le cas pour environ la moitié des habitants de l'Arctique, dont la culture, la langue et l'identité sont inextricablement liées à la terre et à la mer de par leur patrimoine et leur identité autochtones (*voir* les encadrés 2 à 4). La perturbation des cycles et des habitudes de chasse traditionnels (Ford *et al.*, 2006b; Nickels *et al.*, 2006), la baisse de la capacité des aînés de prévoir les conditions météorologiques et de transmettre l'information aux autres membres de la collectivité, et l'inquiétude de voir disparaître des cimetières et des logements sous l'effet de l'érosion côtière (Collectivité de Tuktoyaktuk *et al.*, 2005) sont quelques exemples des perturbations sociales qui peuvent toucher des collectivités déjà aux prises avec d'importantes transformations dues à des forces internes et externes. Des chercheurs ont associé le stress qui résulte de ces changements multiples à certains symptômes de détresse psychosociale, mentale et sociale, comme l'alcoolisme, la violence et le suicide (Berner *et al.*, 2005; Curtis *et al.*, 2005).

Chaque région du Nord du Canada est unique en ce qui a trait aux forces environnementales, sociales, culturelles, économiques et politiques qui régissent le changement aux échelles locale et

régionale. Cet état de choses concerne particulièrement les régions et localités qui connaissent divers types de changements accélérés dans plusieurs secteurs à la fois (Chapin *et al.*, 2005). Dans plusieurs régions, par exemple, la place grandissante de l'économie basée sur les salaires a réduit non seulement le besoin de chasse, de pêche et de cueillette, mais aussi le temps disponible pour pratiquer ces activités. Dès lors, il s'est développé et transmis moins de connaissances traditionnelles et de respect pour l'environnement, au détriment des jeunes générations, et les avantages de la consommation d'aliments locaux pour la santé s'en sont trouvés réduits. L'économie basée sur les salaires apporte cependant des ressources permettant aux gens de s'adapter en achetant de l'équipement de chasse (p. ex., des embarcations, des VTT, des motoneiges) qui leur permet de chasser un plus grand nombre d'espèces sur un territoire plus vaste. Les divers aspects de l'évolution du climat peuvent renforcer, affaiblir ou modifier les principaux facteurs de changement dans une localité ou région donnée (McCarthy *et al.*, 2005). Après avoir examiné les principaux facteurs et leurs interactions, Chapin *et al.* (2005) ont conclu que la détérioration des liens culturels avec les activités traditionnelles et de subsistance, et tout ce qu'elles représentent, est la cause la plus alarmante de la diminution du bien-être constatée à l'heure actuelle chez les Autochtones des régions arctiques circumpolaires (Chapin *et al.*, 2005).

5.3 CAPACITÉ D'ADAPTATION

L'adaptation se fait au niveau de l'individu, de la collectivité ou du système et aux échelles locale, régionale ou nationale (*voir* le chapitre 10, Gouvernement du Canada, 2001). Dans de nombreux cas, les mesures d'adaptation les plus efficaces et durables se prennent à l'échelle locale et impliquent directement les personnes concernées (Clark, 2006; Furgal et Seguin, 2006). Les institutions qui facilitent les relations entre différentes échelles aident à accroître la résilience face au changement (Berkes *et al.*, 2003). À ce jour, les études de l'adaptation réalisées sur le Nord du Canada portent principalement sur les collectivités isolées regroupant surtout des résidents autochtones (p. ex., Berkes et Jolly, 2002, et des chapitres

ENCADRÉ 2

Points de vue autochtones sur les impacts du changement climatique et l'adaptation nécessaire : les préoccupations et les priorités des Inuits (préparé par l'Inuit Tapiriit Kanatami)

Le Canada compte environ 53 400 Inuits, regroupés dans la région désignée des Inuvialuits, sur la mer de Beaufort; dans les régions de Kitikmeot, Kivalliq et Qikiqtani, au Nunavut; au Nunavik, dans le nord du Québec; et au Nunatsiavut, dans le nord du Labrador (Statistique Canada, 2001). Les collectivités inuites partagent plusieurs caractéristiques qui les distinguent des autres Autochtones du Nord et des populations du sud du Canada et qui ont une grande incidence sur leur vulnérabilité à l'évolution du climat.

Dans presque tous les cas, les collectivités inuites ont été établies au cours des 50 à 60 dernières années, sont situées sur la côte de l'Arctique ou de l'Atlantique, ne disposent d'aucun accès routier et dépendent de la santé et de la gestion des terres et des océans pour soutenir un mode de vie fondé principalement sur les activités et les ressources marines. Avant de se regrouper en collectivités, la majorité des Inuits étaient nomades, vivant dans des camps de chasse dispersés dans l'Arctique et suivant les espèces sauvages en migration. Aujourd'hui, les collectivités tentent de trouver le moyen de fournir une infrastructure et des services suffisants pour répondre aux besoins existants tout en anticipant les pressions supplémentaires qui s'exerceront sur une population jeune en croissance rapide. Comme les autres peuples autochtones du Canada, les Inuits ont vu leur société, leur langue et leur culture changer rapidement et fondamentalement depuis le moment où a eu lieu le contact initial, et ces changements se poursuivent. D'importants écarts séparent les Inuits des autres Canadiens dans des domaines comme la santé, le niveau de scolarisation secondaire et postsecondaire, les besoins de logement, l'accès aux initiatives de développement préscolaire, le taux d'incarcération, le taux d'emploi et le revenu.

Les institutions politiques et administratives innovantes mises sur pied par les Inuits, sous la forme des quatre accords sur les revendications territoriales visant des territoires inuits traditionnels, jouent un rôle essentiel pour résoudre les difficultés et saisir les occasions liées au changement climatique. Le Nunaat inuit (les terres inuites visées par les quatre accords) représente environ 40 p. 100 de la masse terrestre du Canada et une proportion encore plus grande de la superficie totale, terrestre et marine, du Canada. Il comprend un peu moins de la moitié des côtes du Canada, la quasi-totalité d'un territoire (le Nunavut) et des parties de deux autres territoires (les Territoires du Nord-Ouest et le Yukon) et de deux provinces (le Québec et Terre-Neuve-et-Labrador). À titre de propriétaires fonciers de quelques-unes des régions du pays les plus sensibles et les plus vulnérables aux impacts du changement climatique, les Inuits ont un rôle essentiel à jouer dans la résolution de ce problème crucial.

Par l'entremise de leurs organisations régionales, nationales et internationales, les Inuits ont pris des mesures pour déterminer les impacts de la variabilité et de l'évolution du climat qui ont une importance particulière pour leurs populations; le tableau 17 en donne un aperçu. L'accord de partenariat conclu le 31 mai 2005 entre les Inuits du Canada et le gouvernement fédéral comprend un plan d'action des Inuits qui décrit les activités et les initiatives à réaliser dans un délai de trois ans. Une des plus importantes questions abordées par ce plan est celle de la variabilité et du changement du climat. À cet égard, le plan demande : 1) un processus stratégique qui intègre les connaissances inuites et scientifiques; 2) la mise en place d'un processus dirigé par les Inuits pour traiter des préoccupations qui leur sont propres; 3) une collaboration accrue des Inuits et du gouvernement du Canada dans l'examen de moyens d'atténuer le changement climatique et de s'y adapter, aux échelles nationale et internationale; 4) un processus de suivi des recommandations de l'*Arctic Climate Impact Assessment*; 5) l'élaboration d'outils de renforcement durable des capacités pour soutenir le travail de recherche et de planification effectué par les Inuits relativement aux impacts et à l'adaptation; 6) l'établissement d'une stratégie sur le changement climatique dans l'Arctique canadien qui vise à la fois l'atténuation et l'adaptation. Le plan d'action insiste en outre sur l'importance de la collaboration dans les grandes activités internationales en matière de changement climatique, comme celles qui découlent de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), de la Convention sur la diversité biologique (CDB), de la Commission nord-américaine de coopération environnementale et du Conseil de l'Arctique.

ENCADRÉ 2 *(suite)*

TABLEAU 17 : Priorités des Inuits du Canada en matière d'impacts du changement climatique et d'adaptation à ce changement.

Question prioritaire	Importance pour les Inuits
Espèces sauvages	Pour les Inuits, les espèces sauvages ne sont pas uniquement une question de subsistance et d'alimentation. Elles jouent un rôle dans la préservation et la promotion de la langue, de la culture et du savoir traditionnel. Aujourd'hui encore, la chasse est un processus social d'apprentissage et de transmission des connaissances au sein des collectivités. Certaines espèces clés (p. ex., l'ours blanc) doivent faire l'objet d'une attention particulière afin que l'on trouve un équilibre entre les intérêts de la conservation et ceux de la gestion en vue d'une exploitation judicieuse par les Inuits dans l'avenir.
Infrastructures	Les collectivités inuites, principalement situées sur les terres basses des zones côtières, doivent, dans bien des cas prendre des mesures immédiates pour protéger les côtes et les bâtiments. Elles doivent aussi envisager un futur déménagement par suite des dommages que ne cesse de causer une érosion dévastatrice.
Santé humaine	De nombreuses collectivités inuites témoignent déjà d'impacts sur la santé. L'état de santé des Inuits est menacé et le climat agira sur les vulnérabilités (sociales, physiques et mentales) existantes. La capacité d'adaptation est limitée par des facteurs tels que l'accessibilité des services médicaux et d'urgence, déjà beaucoup moindre dans les localités inuites qu'ailleurs dans le pays.
Sécurité alimentaire et contaminants	Les impacts déjà observés sur la sécurité alimentaire des Inuits devraient s'ajouter aux effets actuellement reconnus des contaminants présents dans les aliments traditionnels. L'adaptation de la réaction à la présence de contaminants dépend de l'éducation et de la disponibilité des renseignements venus de l'extérieur. Actuellement, la capacité de surveillance et de recherche nécessaire pour prendre des décisions éclairées est limitée. Pour le moment, les Inuits ne disposent que d'un accès économique restreint aux aliments de remplacement (produits alimentaires sains du marché).
Savoir traditionnel	Le savoir environnemental traditionnel (cycles saisonniers, prévision météorologique, migration des animaux, qualité et volume de la glace de mer) forme une partie importante de la culture des Inuits. Les connaissances inuites jouent un rôle essentiel dans l'élaboration des politiques du Nord et des règlements sur les espèces en péril et la gestion des espèces sauvages. Le changement climatique, associé à l'évolution des collectivités, menace et érode le savoir traditionnel des Inuits. La contribution de ce savoir à la capacité d'adaptation permet cependant de s'éveiller à sa valeur et à son importance pour l'avenir.
Économie	Le changement climatique nuit à la capacité des Inuits de gagner un revenu, mais accroît leurs dépenses. Les Inuits ont déjà commencé à s'adapter, mais les ménages doivent porter le fardeau des impacts économiques, qui ne peut que s'alourdir.
Gestion des urgences	La protection civile est très critique pour les petites localités isolées, comme celles où vivent de nombreux Inuits. Les dangers environnementaux, de plus en plus graves et variés, mettent en péril un nombre croissant de jeunes Inuits lors des déplacements sur les terres. Les opérations de recherche et de sauvetage, de plus en plus fréquentes, deviennent aussi plus dangereuses. En raison de la multiplication des risques potentiels pour la santé, il faut améliorer la capacité et les plans d'intervention d'urgence, ainsi que les stratégies de secours.
Sécurité et souveraineté	Les terres traditionnelles inuites comprennent une grande partie des côtes de l'Arctique, et presque toutes les localités inuites sont côtières. L'accroissement du transport maritime et l'ouverture de ports dans l'Arctique apporteront d'importants changements dans les collectivités inuites, y compris des risques associés à d'éventuelles catastrophes environnementales (déversements), des changements socioculturels et certains avantages (multiplication des possibilités d'emploi rémunéré).

ENCADRÉ 3

Points de vue autochtones sur les impacts du changement climatique et l'adaptation nécessaire : les collectivités des Premières nations du Yukon (préparé par le Council of Yukon First Nations)

Le Council of Yukon First Nations (CYFN) représente 11 des 14 Premières nations du Yukon, de même que quatre Premières nations Gwich'in de la région du delta du Mackenzie. Le CYFN s'est engagé à promouvoir une gestion responsable des ressources humaines et naturelles au sein de tous les territoires traditionnels des Premières nations qui en sont membres. Des aînés et d'autres membres de Premières nations ont déjà signalé certains effets observables du changement climatique sur les écosystèmes, par exemple la modification du débit saisonnier des cours d'eau, des infestations d'insectes et la transformation de la composition des forêts. En partenariat avec l'Arctic Athabaskan Council (AAC), le CYFN a participé à l'*Arctic Climate Impact Assessment* et appuie la mise en œuvre de ses principales recommandations. Le CYFN a axé sa propre stratégie en matière de changement climatique sur ces mêmes objectifs. La réponse de l'organisation s'articule autour de trois grands thèmes :

- la capacité fondamentale de coordonner et de gérer les réactions des Premières nations du Yukon aux impacts du changement climatique;
- le soutien à la recherche communautaire dirigée;
- la communication, l'éducation du public et l'élaboration de partenariats.

Pour comprendre de façon globale les possibilités d'adaptation, on estime important de mener les recherches et la surveillance à l'échelle locale. Pour le CYFN, ce type de recherche et de surveillance soulignerait non seulement l'importance d'accumuler des connaissances détaillées sur les perspectives locales et de comprendre le changement climatique, mais aussi la nécessité que l'information soit mise en commun entre divers groupes, notamment les collectivités, les scientifiques et les décideurs. Les différents ateliers et conférences organisés par le CYFN depuis quelques années ont permis de documenter les préoccupations et les priorités des collectivités. On y retrouve des préoccupations quant aux effets possibles du changement climatique sur les aspects traditionnels et non traditionnels de la société, sur les interactions sociales et culturelles de la collectivité et sur les activités économiques d'échelles locale et régionale. Les documents décrivent, en outre, les problèmes que les collectivités estiment bien présents aujourd'hui ou susceptibles de se présenter dans l'avenir, ainsi que la façon de s'organiser, à l'aide de mesures d'adaptation efficaces, pour tirer parti des nouvelles possibilités. Le tableau 18 présente les principaux thèmes de recherche définis en consultation avec les collectivités de Premières nations.

L'essentiel de la méthode adoptée par le CYFN pour améliorer la capacité d'adaptation des collectivités consiste à fournir les bons renseignements aux bonnes personnes, au moment opportun. D'après les conclusions des plus récentes recherches et évaluations, on fait valoir que, pour promouvoir et soutenir le maintien des moyens de subsistance et des traditions culturelles des peuples et collectivités autochtones, il faut transmettre ces renseignements aux décideurs de tous ordres afin de favoriser l'élaboration et la mise en œuvre proactives de politiques et de mesures appropriées. Les aînés des Premières nations du Yukon ont mis sur pied le comité des aînés sur le changement climatique, et participé et contribué à la direction des travaux du CYFN sur les questions liées au changement climatique. Ils estiment qu'en communiquant leur savoir, ils apporteront un nouvel éclairage qui favorisera la compréhension nécessaire pour formuler des stratégies nationales et circumpolaires visant à étudier et à résoudre la question. À court terme, les efforts du CYFN ont pour objectif premier de faire participer ses collectivités membres et de les aider à comprendre et à développer leur propre capacité d'adaptation, ainsi qu'à résoudre les conflits face aux impacts du changement climatique.

TABLEAU 18 : Thèmes prioritaires pour la recherche sur le changement climatique tels que définis par le Conseil des Premières nations du Yukon, en consultation avec les collectivités de Premières nations du Yukon.

Question prioritaire	Importance pour les collectivités du Council of Yukon First Nations
Sécurité alimentaire	Les pratiques traditionnelles liées aux ressources, comme la chasse, la garde de troupeaux, la pêche et la cueillette, demeurent d'une importance cruciale pour l'économie, la culture et la santé locales des Premières nations du Yukon. Depuis des siècles, les conditions environnementales caractéristiques de la région ont permis aux collectivités et aux peuples de mettre au point des techniques et des connaissances, transmises de génération en génération. Mais les conditions changent et les pratiques liées aux ressources s'en ressentent déjà. Les accords actuels protègent l'accès des Premières nations du Yukon aux poissons et aux espèces sauvages, ainsi que leur droit juridique de chasser et de pêcher, mais ces institutions risquent d'être remises en question par suite de l'évolution du climat. Pour protéger ces ressources au profit des membres des Premières nations, il est donc essentiel de bien comprendre les conséquences politiques qui touchent à la sécurité alimentaire.
Santé et bien-être communautaires	L'introduction possible de nouvelles maladies au Yukon menace directement les collectivités de Premières nations. Les effets combinés des changements biophysiques (climatiques), sociaux, économiques et culturels actuellement en cours risquent fort d'avoir des conséquences néfastes sur la santé, déjà attaquée de toutes parts. Les impacts possibles sur la durabilité de l'économie traditionnelle du Yukon et l'incidence indirecte sur la santé et le bien-être sont énormes, mais mal connus.
Conflits d'utilisation des ressources	En raison de la forte participation à l'économie basée sur les salaires comme à l'économie traditionnelle, et de l'incidence éventuelle du changement climatique sur ces deux secteurs économiques, il est essentiel de bien comprendre les conflits susceptibles de naître des impacts et de la concurrence entre ces secteurs. Il faut comprendre les effets cumulatifs, y compris les effets du climat, associés aux grands développements au Yukon.
Protection civile	Actuellement, on connaît trop peu le niveau de protection civile des collectivités de Premières nations du Yukon et les effets possibles du climat sur les localités isolées, surtout au vu de l'augmentation des risques associés aux phénomènes météorologiques extrêmes et aux catastrophes naturelles connexes, comme les feux de forêt.

ENCADRÉ 4

Points de vue autochtones sur les impacts du changement climatique et l'adaptation nécessaire : la Nation dénée (*tiré de* Paci *et al.*, 2005)

La Nation dénée est l'organisation politique autochtone mandatée pour représenter les intérêts et les convictions du Denendeh, qui regroupe plus de 25 000 résidents répartis dans 29 localités et cinq zones culturellement et géographiquement distinctes. Comme les Premières nations des autres régions de l'Arctique, les Dénés constatent et signalent des changements d'ordre climatique et environnemental propres aux habitants de leur région. Un groupe de travail environnemental du Denendeh (Denendeh Environmental Working Group, ou DEWG) rassemble des Dénés et des invités du gouvernement, d'universités et d'organisations non gouvernementales dans des ateliers sur les connaissances et les constatations relatives au changement climatique. Des ateliers ont déjà eu lieu sur les thèmes du changement climatique et de ses impacts sur les forêts, l'eau et les poissons. Jusqu'ici, quatre grandes questions ont orienté les discussions du DEWG sur le climat (Paci *et al.*, 2005, p. 60) :

- Le Denendeh est-il différent de ce qu'il était autrefois? Le changement climatique joue-il un rôle dans ces modifications? Peut-on envisager d'autres causes?
- Quels sont les programmes disponibles en matière de changement climatique? Comment les collectivités dénées peuvent-elles participer davantage à la recherche et à la communication à ce sujet?
- S'il est important de documenter les perspectives et les connaissances des Dénés sur le changement climatique, comment devrait-on les rassembler et les communiquer aux décideurs, aux gouvernements et aux gens de l'extérieur de la région nordique?
- Le DEWG est-il un mécanisme efficace pour discuter du changement climatique? De quoi devrait-on parler? Que doit-on faire d'autre?

Une description plus complète du changement climatique et de ses effets constatés au Denendeh par des Dénés figure dans l'*Arctic Climate Impact Assessment* (Paci *et al.*, 2005).

de cet ouvrage; Nickels *et al.*, 2002; Ford *et al.*, 2006b). La documentation scientifique aborde assez rarement les effets de l'évolution du climat sur les résidents non autochtones ou l'adaptation dans les grandes municipalités. L'importance de questions comme celles ayant trait aux impacts et aux vulnérabilités des infrastructures municipales et de transport a été reconnue cependant et, depuis quelques années, certains gouvernements font des efforts pour trouver les solutions qui s'imposent (p. ex., Government of Nunavut, 2006).

Il ressort des ateliers et des projets de recherche menés dans l'ensemble de la région nordique que les particuliers ont déjà commencé à s'adapter pour réduire les impacts du changement climatique sur divers aspects de leur vie et de leurs moyens de subsistance, surtout de façon réactionnelle (*voir* les exemples des sections ci-dessus). La capacité d'adaptation dépend de facteurs tels que l'accès aux ressources économiques, à la technologie, à l'information et aux compétences, les dispositions institutionnelles, l'équité entre les membres du groupe, la perception du risque et l'état de santé (*voir* le chapitre 2, p. ex., Kovats *et al.*, 2003; Smit et Pilifosova, 2003). Comme le décrit la section 2.2, nombre de ces facteurs varient grandement d'une région à l'autre, mais également au sein d'une même région, entre les petites localités isolées et les municipalités ou centres régionaux plus grands. C'est ce qui explique que, face au changement climatique et autres, la capacité d'adaptation et la résilience des individus et des collectivités varient en fonction de facteurs géographiques, sociodémographiques, économiques et culturels. On peut, cependant, repérer un certain nombre de sources de résilience et de vulnérabilité sociales et économiques communes à beaucoup de sociétés de l'Arctique et y associer des possibilités d'adaptation (*voir* le tableau 19; Chapin *et al.*, 2006).

Érosion des capacités traditionnelles

L'Arctique a déjà connu d'importants changements climatiques. Les enregistrements archéologiques, les analyses ethnohistoriques et la mémoire des aînés autochtones relatent en détail l'influence dominante que les changements périodiques, irréguliers et souvent spectaculaires des écosystèmes, déclenchés par des périodes de réchauffement et de refroidissement et des phénomènes météorologiques extrêmes, exercent depuis toujours sur la vie humaine dans l'Arctique. La présence continue des peuples autochtones dans l'Arctique ne peut s'expliquer que par la capacité de leurs pratiques sociales, économiques et culturelles de s'ajuster à la variabilité et à l'évolution du climat. Durant des millénaires, les populations de l'Arctique se sont adaptées à des changements environnementaux graduels, ou même soudains, en déplaçant leurs établissements vers des milieux plus favorables et le long des voies migratoires des animaux (Nuttall et al., 2005). Les énormes changements sociaux, culturels et économiques survenus depuis que les peuples autochtones se sont établis dans des localités permanentes, surtout au cours des 50 à 60 dernières années, ont considérablement érodé les aspects traditionnels de leur résilience socio-écologique et de leur capacité d'adaptation (Berkes et Jolly, 2002). Les nouvelles possibilités économiques qui pourraient découler du changement climatique devraient entraîner une hausse de l'emploi salarié, susceptible à son tour de réduire les occasions personnelles d'acquérir les compétences et les connaissances traditionnelles basées sur la terre qui sont nécessaires pour maintenir certains aspects de la subsistance et des modes de vie traditionnels.

Ressources économiques

Si petites ou isolées soient-elles, les collectivités nordiques ont un lien économique et politique avec les courants nationaux. Les obstacles au commerce, les régimes de gestion des espèces sauvages et les intérêts politiques, juridiques et de conservation nuisent à la capacité des habitants du Nord d'affronter les défis que pose un climat en évolution. Parmi les enjeux qui concernent le Nord, plusieurs ne s'appliquent à aucune autre région du Canada. Par exemple, même si le gouvernement du Nunavut estime qu'il en coûterait environ 35 millions de dollars canadiens par année pour remplacer les aliments obtenus au moyen d'activités traditionnelles et de subsistance, il est pratiquement impossible de convertir cette richesse traditionnelle en argent pour acheter, faire fonctionner et entretenir l'équipement des chasseurs. L'abandon de la chasse et le remplacement des aliments traditionnels par des aliments importés seraient non seulement nuisibles pour la santé, mais aussi extrêmement coûteux (Nuttall *et al.*, 2005).

Dans de nombreuses régions nordiques, l'économie axée sur

ENCADRÉ 4

Points de vue autochtones sur les impacts du changement climatique et l'adaptation nécessaire : la Nation dénée (*tiré de* Paci *et al.*, 2005)

La Nation dénée est l'organisation politique autochtone mandatée pour représenter les intérêts et les convictions du Denendeh, qui regroupe plus de 25 000 résidents répartis dans 29 localités et cinq zones culturellement et géographiquement distinctes. Comme les Premières nations des autres régions de l'Arctique, les Dénés constatent et signalent des changements d'ordre climatique et environnemental propres aux habitants de leur région. Un groupe de travail environnemental du Denendeh (Denendeh Environmental Working Group, ou DEWG) rassemble des Dénés et des invités du gouvernement, d'universités et d'organisations non gouvernementales dans des ateliers sur les connaissances et les constatations relatives au changement climatique. Des ateliers ont déjà eu lieu sur les thèmes du changement climatique et de ses impacts sur les forêts, l'eau et les poissons. Jusqu'ici, quatre grandes questions ont orienté les discussions du DEWG sur le climat (Paci *et al.*, 2005, p. 80) :

- Le Denendeh est-il différent de ce qu'il était autrefois? Le changement climatique joue-il un rôle dans ces modifications? Peut-on envisager d'autres causes?
- Quels sont les programmes disponibles en matière de changement climatique? Comment les collectivités dénées peuvent-elles participer davantage à la recherche et à la communication à ce sujet?
- S'il est important de documenter les perspectives et les connaissances des Dénés sur le changement climatique, comment devrait-on les rassembler et les communiquer aux décideurs, aux gouvernements et aux gens de l'extérieur de la région nordique?
- Le DEWG est-il un mécanisme efficace pour discuter du changement climatique? De quoi devrait-on parler? Que doit-on faire d'autre?

Une description plus complète du changement climatique et de ses effets constatés au Denendeh par des Dénés figure dans l'*Arctic Climate Impact Assessment* (Paci *et al.*, 2005).

de cet ouvrage; Nickels *et al.*, 2002; Ford *et al.*, 2006b). La documentation scientifique aborde assez rarement les effets de l'évolution du climat sur les résidents non autochtones ou l'adaptation dans les grandes municipalités. L'importance de questions comme celles ayant trait aux impacts et aux vulnérabilités des infrastructures municipales et de transport a été reconnue cependant et, depuis quelques années, certains gouvernements font des efforts pour trouver les solutions qui s'imposent (p. ex., Government of Nunavut, 2006).

Il ressort des ateliers et des projets de recherche menés dans l'ensemble de la région nordique que les particuliers ont déjà commencé à s'adapter pour réduire les impacts du changement climatique sur divers aspects de leur vie et de leurs moyens de subsistance, surtout de façon réactionnelle (*voir* les exemples des sections ci-dessus). La capacité d'adaptation dépend de facteurs tels que l'accès aux ressources économiques, à la technologie, à l'information et aux compétences, les dispositions institutionnelles, l'équité entre les membres du groupe, la perception du risque et l'état de santé (*voir* le chapitre 2; p. ex., Kovats *et al.*, 2003; Smit et Pilifosova, 2003). Comme le décrit la section 2.2, nombre de ces facteurs varient grandement d'une région à l'autre, mais également au sein d'une même région, entre les petites localités isolées et les municipalités ou centres régionaux plus grands. C'est ce qui explique que, face au changement climatique et autres, la capacité d'adaptation et la résilience des individus et des collectivités varient en fonction de facteurs géographiques, sociodémographiques, économiques et culturels. On peut, cependant, repérer un certain nombre de sources de résilience et de vulnérabilité sociales et économiques communes à beaucoup de sociétés de l'Arctique et y associer des possibilités d'adaptation (*voir* le tableau 19; Chapin *et al.*, 2006).

Érosion des capacités traditionnelles

L'Arctique a déjà connu d'importants changements climatiques. Les enregistrements archéologiques, les analyses ethnohistoriques et la mémoire des aînés autochtones relatent en détail l'influence dominante que les changements périodiques, irréguliers et souvent spectaculaires des écosystèmes, déclenchés par des périodes de réchauffement et de refroidissement et des phénomènes météorologiques extrêmes, exercent depuis toujours sur la vie humaine dans l'Arctique. La présence continue des peuples autochtones dans l'Arctique ne peut s'expliquer que par la capacité de leurs pratiques sociales, économiques et culturelles de s'ajuster à la variabilité et à l'évolution du climat. Durant des millénaires, les populations de l'Arctique se sont adaptées à des changements environnementaux graduels, ou même soudains, en déplaçant leurs établissements vers des milieux plus favorables et le long des voies migratoires des animaux (Nuttall et al., 2005). Les énormes changements sociaux, culturels et économiques survenus depuis que les peuples autochtones se sont établis dans des localités permanentes, surtout au cours des 50 à 60 dernières années, ont considérablement érodé les aspects traditionnels de leur résilience socio-écologique et de leur capacité d'adaptation (Berkes et Jolly, 2002). Les nouvelles possibilités économiques qui pourraient découler du changement climatique devraient entraîner une hausse de l'emploi salarié, susceptible à son tour de réduire les occasions personnelles d'acquérir les compétences et les connaissances traditionnelles basées sur la terre qui sont nécessaires pour maintenir certains aspects de la subsistance et des modes de vie traditionnels.

Ressources économiques

Si petites ou isolées soient-elles, les collectivités nordiques ont un lien économique et politique avec les courants nationaux. Les obstacles au commerce, les régimes de gestion des espèces sauvages et les intérêts politiques, juridiques et de conservation nuisent à la capacité des habitants du Nord d'affronter les défis que pose un climat en évolution. Parmi les enjeux qui concernent le Nord, plusieurs ne s'appliquent à aucune autre région du Canada. Par exemple, même si le gouvernement du Nunavut estime qu'il en coûterait environ 35 millions de dollars canadiens par année pour remplacer les aliments obtenus au moyen d'activités traditionnelles et de subsistance, il est pratiquement impossible de convertir cette richesse traditionnelle en argent pour acheter, faire fonctionner et entretenir l'équipement des chasseurs. L'abandon de la chasse et le remplacement des aliments traditionnels par des aliments importés seraient non seulement nuisibles pour la santé, mais aussi extrêmement coûteux (Nuttall *et al.*, 2005).

Dans de nombreuses régions nordiques, l'économie axée sur

TABLEAU 19 : Sources de résilience et de vulnérabilité sociales et économiques qui caractérisent de nombreux systèmes arctiques (*tiré de* Chapin *et al.*, 2006).

Caractéristiques de l'Arctique	Sources de résilience	Sources de vulnérabilité	Possibilités d'adaptation
Propriétés sociales et institutionnelles	Partage des ressources et des risques entre les réseaux de parenté	Infrastructure scolaire insuffisante pour planifier en vue des changements à venir	La grande diversité culturelle favorise l'apprentissage et l'innovation
	Personnes possédant plusieurs emplois et compétences (« hommes à tout faire »)	Main-d'œuvre relativement peu qualifiée	
	Les méthodes de tenure et les droits d'utilisation des terres varient d'une région à l'autre; les plus fermes offrent une souplesse suffisante pour l'adaptation.		
Propriétés économiques	La combinaison de l'économie de subsistance et de l'économie basée sur les salaires comporte la souplesse requise pour l'adaptation au changement	Dissociation des stimulants et des conséquences économiques du changement climatique	Remplacement des importations coûteuses (aliments, combustibles) par des ressources locales
		L'économie d'extraction non diversifiée résulte en une alternance d'expansion et de récession	Richesse nationale suffisante pour investir dans l'adaptation
		Certaines politiques et infrastructures font obstacle aux déménagements requis par le changement climatique	
	Le prélèvement de rentes associées au développement varie d'une région à l'autre; là où il existe, ce système permet de bâtir l'infrastructure et le capital social nécessaires à l'adaptation et à la diversification.		

l'exploitation des ressources naturelles constitue une base économique qui soutient diverses adaptations aux changements environnementaux. C'est pourquoi certaines régions bien placées pour profiter de ces activités ont une capacité d'adaptation à court terme beaucoup plus grande que les autres. Cependant, comme le note le juge Berger (Berger, 2006), les Inuits (comme tous les autres gens du Nord, d'ailleurs) doivent être éduqués et prêts à saisir les occasions économiques susceptibles de découler des changements à venir dans le Nord, comme la multiplication des projets d'exploration et de développement pétroliers et gaziers, la mise en valeur intensive des ressources minières, l'amélioration de la navigation, la poursuite d'activités portuaires et de travaux d'infrastructure. À l'heure actuelle, le niveau de scolarité et de qualification de la main-d'œuvre limite souvent la capacité des résidents du Nord à tirer parti de possibilités de ce genre.

Information et technologie

Dans leurs analyses de la vulnérabilité au changement climatique, Ford *et al.* (2006b) ont examiné l'importance des techniques et des connaissances traditionnelles, des réseaux sociaux et de la flexibilité quant à l'utilisation des ressources, particulièrement chez les chasseurs. De nombreuses autres études ont signalé l'importance de conjuguer les connaissances scientifiques et traditionnelles pour s'efforcer de comprendre les divers aspects du changement climatique, de ses impacts et des solutions envisagées à l'échelle locale (p. ex., Parlee *et al.*, 2005; Furgal *et al.*, 2006; Gearheard *et al.*, 2006; Laidler, 2006). Les techniques et les systèmes de connaissances traditionnels, essentiels à de nombreuses réactions individuelles au changement environnemental, sont malgré tout remis en question et parfois érodés par les forces combinées des changements environnementaux et sociaux que connaissent les collectivités nordiques (Nuttall *et al.*, 2005; Ford *et al.*, 2006b; Lacroix, 2006). Ce phénomène est particulièrement marqué chez les jeunes résidents autochtones qui occupent un emploi rémunéré à plein temps. Malgré tout, si leur capacité d'adaptation au changement environnemental s'atténue d'une part, elle s'accroît d'autre part grâce à un accès amélioré aux ressources économiques et à la technologie. C'est pourquoi il est difficile de prévoir l'effet résultant de la combinaison de toutes les forces de changement dans un avenir tant soit peu lointain.

Politiques et capacité institutionnelle

Chapin *et al.* (2006) et Ford *et al.* (2007) ont recommandé des politiques d'adaptation visant à soutenir divers aspects de la résilience au sein des collectivités et des secteurs nordiques. Il s'agit notamment, entre autres, d'assurer la souplesse des régimes de gestion des ressources (p. ex., Adger, 2003), de soutenir l'enseignement structuré des compétences et des connaissances traditionnelles, et d'apporter un soutien économique au maintien des modes de vie traditionnel et de subsistance (p. ex., Ford *et al.*, 2007). Ces auteurs insistent en outre sur l'enseignement et le développement de compétences qui permettront aux résidents du Nord d'être mieux préparés pour s'adapter à l'évolution accélérée du milieu social, économique et physique du Nord, et à pouvoir en tirer profit (p. ex., Berger, 2006).

Pour élaborer et mettre en œuvre ce type de politiques, les institutions doivent être sensibilisées à la question et faire preuve de vision. Le mode d'interaction entre les organisations et les individus est particulièrement important, aussi bien dans le secteur public et dans l'ensemble des organisations gouvernementales et non gouvernementales qu'au sein de la société (Adger, 2003; Willems et Baumert, 2003; Berkes *et al.*, 2005). Il existe quelques exemples de la capacité des institutions dans le Nord de faire face au changement climatique. Là où, soit les ministères gouvernementaux et les organisations ont réussi à élaborer et à mettre en place des plans d'adaptation, soit des groupes se sont assuré le concours d'organismes autochtones, de représentants du

gouvernement et du public en général en vue d'identifier les problèmes qu'ils ont en commun et les moyens de les résoudre, on constate l'impact que peut avoir la mobilisation des ressources locales, territoriales et régionales. De toute façon, tout indique que la mise en œuvre des politiques et des mesures appropriées ne pourra se faire de façon efficace sans qu'on maintienne et renforce l'expertise en matière de climat, et qu'on crée même de nouvelles dispositions institutionnelles dans divers domaines stratégiques propres au Nord, surtout liés à la sécurité publique et au développement économique. Il est important de viser à avoir recours à la capacité actuelle des institutions d'intégrer les préoccupations climatiques (générales) aux domaines couverts à l'heure actuelle par les politiques et les programmes.

6 CONCLUSIONS

Le climat de l'Arctique canadien a déjà subi des changements considérables qui provoquent des effets en cascade sur les systèmes physiques, biologiques, économiques et sociaux de la région. À cause de leur dépendance envers la prévisibilité et la stabilité caractéristique de la cryosphère (neige, glaciers, glace d'eau douce et de mer, pergélisol), ces systèmes ont une sensibilité relativement élevée au changement climatique. Selon toute probabilité, les tendances climatiques actuelles vont aller en s'intensifiant et engendreront des conditions, des difficultés et des perspectives exceptionnelles d'adaptation aussi bien pour la nature que pour l'homme.

On s'attend à des changements majeurs dans toute une gamme de secteurs de ressources naturelles, dont la production d'hydroélectricité, le pétrole et le gaz, les mines, la foresterie et les pêches. À divers endroits, il faudra adapter les installations hydroélectriques au changement de régime de débit associé aux modifications du moment de survenue et du volume du ruissellement provenant de la fonte des neiges. Mais, surtout, à mesure qu'augmenteront les besoins en énergie renouvelable, il faudra envisager les répercussions de la construction de nouveaux ouvrages de retenue, surtout dans le bassin du Mackenzie, qui coule vers le nord. Les plus anciens ouvrages d'infrastructure de l'Arctique, s'ils sont construits sur du pergélisol vulnérable au dégel, devront peut-être faire l'objet d'une adaptation structurale ou opérationnelle afin de résister au dégel du pergélisol, et on constate qu'à certains endroits des mesures d'adaptation ont déjà été entreprises (*voir* la section 4.4). L'industrie minière, elle, doit régler la grande question du confinement des déchets. Jusqu'ici, l'industrie a toujours tablé sur l'étanchéité du pergélisol pour l'entreposage à long terme, mais, dans l'avenir, le dégel de celui-ci risque d'exclure tout recours à des méthodes d'entreposage en surface et d'imposer l'assainissement des vieux sites de stockage. Dans le cas de l'industrie du pétrole et du gaz, le changement climatique aura des effets sur l'exploration, la production et le transport. La réduction projetée de la couverture de glace de mer, par exemple, sera probablement avantageuse pour l'exploration et la mise en valeur des secteurs de l'énergie et des mines, ce qui stimulera le développement économique.

Les activités de transport maritime et fluvial devront s'adapter à la réduction de l'épaisseur et de la superficie saisonnières de la couche de glace qui recouvre les cours d'eau, les lacs et les mers. Il pourrait se révéler nécessaire, d'une part, de changer de type de navire et de voies navigables pour le transport maritime ou, d'autre part, d'accroître le transport terrestre et par barge si les routes et les franchissements sur la glace deviennent moins sûrs. Pour le transport maritime, l'accessibilité accrue soulève, en outre, des questions importantes quant à l'utilisation internationale du passage du Nord-Ouest. En permettant aux promoteurs d'accéder à des ressources naturelles jusque-là trop isolées et de les exploiter de façon rentable, le développement du transport maritime et terrestre créerait une synergie favorisant l'exploration de ces ressources. Ces changements s'accompagneront de nouveaux risques et de nouvelles possibilités pour les établissements humains. L'arrivée de l'emploi rémunéré pourrait améliorer la capacité d'adaptation à certains impacts climatiques, cependant une participation accrue au système d'emplois à plein temps ne peut que continuer d'être liée à la tendance actuelle à l'érosion des valeurs sociales et culturelles.

Dans les secteurs de la pêche et de la foresterie, le changement de qualité et de superficie des habitats nécessitera des adaptations touchant aussi bien les stratégies de gestion que les équipements utilisés. De plus, les espèces envahissantes et les changements constatés au niveau de la biodiversité y suscitent des inquiétudes. Les deux secteurs devront modifier leurs plans de gestion durable afin de faire face à l'évolution future du climat. Comme certaines espèces sauvages essentielles de l'Arctique ressentent déjà les impacts d'un climat en évolution à la limite sud de leur aire de répartition, il pourrait être nécessaire de modifier les régimes de gestion et, éventuellement, d'apporter des changements aux limites des aires de protection. Des mesures visant à mieux comprendre et à protéger les espèces génétiquement uniques et sensibles dont l'abondance a récemment périclité, comme les hardes de caribous du centre et de l'ouest de l'Arctique, contribueront à favoriser la santé et le bien-être culturel des populations autochtones de l'Arctique.

Les impacts des extrêmes climatiques et des catastrophes naturelles qui touchent directement la santé sont très importants pour les résidents des localités les plus exposées aux forces environnementales (p. ex., sur les terres basses des zones côtières éloignées et les régions montagneuses isolées), lesquelles sont situées loin des services de santé d'urgence et dotées de plans de protection civile peu élaborés. Les personnes âgées ou souffrant déjà de problèmes de santé sont les plus vulnérables aux températures extrêmes. Parmi les populations les plus durement exposées aux effets indirects du changement climatique, nombre d'entre elles subissent déjà un stress provoqué par d'autres types de changements, de sorte qu'il devient souvent difficile d'isoler le rôle

précis du climat. Compte tenu de l'augmentation de l'exposition associée à la consommation d'eau non traitée et des problèmes que pose l'utilisation efficace des réseaux municipaux d'assainissement des eaux dans de nombreuses petites collectivités, ces établissements sont plus vulnérables que les autres aux effets du réchauffement sur la qualité de l'eau potable. Cependant, les grandes collectivités risquent aussi de connaître des problèmes de qualité de l'eau et d'approvisionnement en eau, puisque la disponibilité, le traitement et la distribution de l'eau potable nécessitent en général une plate-forme de pergélisol stable pour servir d'assise au bassin ou au lac de rétention et, à l'heure actuelle, la stabilité de la plate-forme est en péril.

Les collectivités et les ménages les plus vulnérables aux impacts du climat sur la sécurité alimentaire sont ceux qui dépendent d'un nombre limité d'espèces comestibles traditionnelles, consomment beaucoup d'aliments traditionnels, sont situés loin des centres régionaux et ont un accès limité aux aliments du marché. Nombre de ces collectivités n'ont pas les ressources économiques nécessaires pour acheter l'équipement de chasse et de transport récent et puissant qui les aiderait à s'adapter aux nouvelles conditions environnementales. Certaines ont élaboré des mesures d'adaptation telles que des programmes d'échanges intercommunautaires, l'installation de congélateurs collectifs et diverses modifications des comportements individuels, dans le but d'atténuer les effets déjà ressentis.

En raison de la diversité politique, culturelle et économique du Nord canadien, les collectivités sont touchées de façons différentes par le changement environnemental et y réagissent différemment. Face à nombre des impacts climatiques recensés à l'heure actuelle, il semble que les grandes municipalités et leurs résidents présentent une vulnérabilité moins prononcée que les petites collectivités isolées. En règle générale, les grandes municipalités sont moins exposées aux risques climatiques et ont une meilleure capacité d'adaptation (p. ex., un meilleur accès aux ressources économiques, à la technologie, à l'infrastructure et aux services de santé). Cependant, les groupes et les individus qui habitent les centres régionaux dépendent de l'infrastructure municipale, elle-même sensible au changement climatique. Dans les petites localités à prédominance autochtone, beaucoup d'autres facteurs déterminent de façon plus prononcée la capacité d'adaptation, dont les connaissances et les techniques traditionnelles, le capital social, ainsi que la perception et la conscience du risque. Comme la vulnérabilité dépend de l'exposition et de la capacité d'adaptation et que ces concepts, face aux divers impacts et possibilités associés au climat, varient d'une localité à l'autre et même au sein de chaque collectivité, il est impossible de tirer des conclusions générales sur la vulnérabilité au changement climatique dans le Nord canadien.

De toute évidence, l'Arctique canadien subit déjà une évolution notable du climat qui touche presque tous les aspects de l'environnement et de la population du Nord. Beaucoup de collectivités ont déjà commencé à s'adapter. Des lacunes sur le plan des connaissances persistent cependant, surtout en ce qui a trait aux seuils correspondant à la manifestation des impacts, à la meilleure façon d'appuyer les efforts d'adaptation en cours, à l'identification des endroits où l'adaptation demeure impossible et à la détermination des limites s'appliquant aux stratégies d'adaptation propres à certaines localités et à certains groupes spécifiques. En renforçant la compréhension dans ces domaines, il sera possible à l'avenir d'appuyer d'une façon plus avisée la prise de décisions à leur égard.

7 REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur gratitude à Ross Mackay (Environnement Canada, Centre national de recherche hydrologique) qui a procédé à la capture et au traitement de données et Elaine Barrow qui a élaboré des scénarios climatiques prévisionnels. Les auteurs remercient également Steve Deschênes, Jane Drengson et Simon Van de Wall (Water and Climate Impacts Research Centre, Environnement Canada) pour leur lecture attentive des épreuves. Ils reconnaissent aussi la contribution de Margaret Treble et de Brian Dempson (tous deux de Pêches et Océans Canada) à la section du chapitre portant sur les pêches.

Les auteurs tiennent aussi à remercier les personnes suivantes qui, par leur participation à des ateliers régionaux, ont contribué à l'élaboration de ce chapitre sur le Nord du Canada:

Rick Armstrong, David Black, Jackie Bourgeois, Bob Bromley, Lilian Chau, Yanie Chauret, Rebecca Chouinard, Shirley Cook, Paul Crowley, Pauline Deehan, Cindy Dickson, Michelle Edwards, Karen Felker, Aleta Fowler, Savanna Hayes, Jenny Ipirq, Stanley James, Mary Jane Johnson, Tom Livingston, Hugh Lloyd, John MacDonald, Johanna Martin, Steve Matthews, David Milbourne, Scott Milton, Lorne Napier, Marie-Eve Neron, Mike Nitsiza, Aynslie Ogden, Bruce Rigby, Doug Ritchie, Julie Roberge, June Shappa, Jamal Shirley, John Streicker, Mary Tapsell, Jessica Thiessen, Mary-Ellen Thomas, Dan Utting, Jody Butler Walker, Laurie Anne White, Michael Westlake, Richard Zieba.

RÉFÉRENCES

Abdalati, W., W. Krabill, E. Frederick, S. Manizade, C. Martin, J. Sonntag, R. Swift, R. Thomas, J. Yungel et R. Koerner. « Elevation changes of ice caps in the Canadian Arctic Archipelago », *Journal of Geophysical Research*, vol. 109, 2004, F04007, doi:10.1029/2003JF000045.

Adams, W.P. « Snow and ice on lakes », dans *Handbook of Snow*, D.M. Gray et D.H. Male (éd.), Pergamon Press, Toronto (Ontario), 1981, pp. 437–474.

Adger, W.N. « Social capital, collective action and adaptation to climate change », *Economic Geography*, vol. 79, n° 4, 2003, pp. 387–404.

Affaires indiennes et du Nord Canada. Programme aliments-poste – Panier de provisions nordique. Affaires indiennes et du Nord Canada, 2007,<http://www.ainc-inac.gc.ca/ps/nap/air/Fruiui/NFB/nfb_f.html> [consultation : 30 juillet 2007].

Agra Earth and Environmental Limited et Nixon Geotech Ltd. *Monograph on Norman Wells pipeline geotechnical design and performance*, Commission géologique du Canada, Dossier public 3773, 1999, 120 p.

Alsek Renewable Resource Council. Strategic forest management plan for the Champagne and Aishihik traditional territory: community directions for a sustainable forest: Champagne and Aishihik Traditional Territory, 2004, <http://caforestry.ca/documents/catt_final_forestplan.pdf>, [consultation : 19 juillet 2007].

Amstrup, S.C., I. Stirling, T.S. Smith, C. Perham et G.W. Thiemann. « Recent observations of intraspecific predation and cannibalism among polar bears in the southern Beaufort Sea », *Polar Biology*, vol. 29, n° 11, 2006, pp. 997–1002.

Anisimov, O.A., D.G. Vaughan, T.V. Callaghan, C. Furgal, H. Marchant, T.D. Prowse, H. Vilhjálmsson et J.E. Walsh. " Polar Regions (Arctic and Antarctic) ", dans Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, contribution du groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M.L. Parry, J.P. Palutikof, P.J. vander Linden et C.E. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2007, pp. 653–685.

Anonyme. Municipal Climate Change Adaptation Workshop, Yellowknife, Ecology North, Yellowknife (Territoires-du-Nord-Ouest), 2006.

Arctic Climate Impact Assessment. *Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment*; Cambridge University Press, Cambridge (Royaume-Uni), 2004, 140 p, <http://www.amap.no/workdocs/index.cfm?dirsub=%2FACIA%2Foverview>, [consultation : 31 juillet 2007].

Arctic Climate Impact Assessment. Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, 1042 p.

Arctic Monitoring and Assessment Program. Arctic pollution 2002: persistent organic pollutants, heavy metals, radioactivity, human health, changing pathways, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo (Norvège), 2002, 112 p.

Arctic Monitoring and Assessment Program (2003a): AMAP assessment 2002: human health in the Arctic, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo (Norvège), 2003a, 137 p.

Arctic Monitoring and Assessment Program (2003b): AMAP assessment 2002: the influence of global change on contaminant pathways to, within, and from the Arctic, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo (Norvège), 2003b, 65 p.

ArcticNet. ArcticNet Réseau de centres d'excellence du Canada, ArcticNet, Laval (Québec), 2007, <http://www.arcticnet-ulaval.ca/>, [consultation : 30 juillet 2007].

Arendt, A.A., K.E. Echelmeyer, W.D. Harrison, C.A. Lingle et V.B. Valentine. « Rapid wastage of Alaska glaciers and their contribution to rising sea level », *Science*, vol. 297, n° 5580, 2002, pp. 382–386.

Armitage, D.R. « Community-based narwhal management in Nunavut, Canada: change, uncertainty and adaptation », *Society and Natural Resources*, vol. 18, n° 8, 2005, pp. 715–731.

Arnell, N.W. « Climate change and global water resources », *Global Environmental Change*, vol. 9, supplémentaire, 1999, pp. S31–S49.

Arora, V.K. et G.J. Boer. « Effects of simulated climate change on the hydrology of major river basins », *Journal of Geophysical Research*, vol. 106, n° D4, 2001, pp. 3335–3348.

Association canadienne des barrages. Dans *Canada Register, Association canadienne des barrages*, mars 2003.

Atkinson, D.E. «Observed storminess patterns and trends in the circum-Arctic coastal regime », *Geo-Marine Letters*, vol. 25, 2005, pp. 98–109

Atkinson, D.E., R.Brown, B. Alt, T. Agnew, J. Bourgeois, M. Burgess, C. Duguay, H. Henry, S. Jeffers, R. Koerner, A.G. Lewkowicz, S. McCourt, H. Melling, M. Sharp, S. Smith, A. Walker, K. Wilson, S. Wolfe, M.-K. Woo et K. Young. « Canadian cryospheric response to an anomalous warm summer: a synthesis of the Climate Change Action Fund Project 'The state of the Arctic Cryosphere during the extreme warm summer of 1998' », *Atmosphere-Ocean*, vol. 44, 2006, pp. 347–375.

Barber, D. et J. Iacozza. « Historical analysis of sea ice conditions in M'Clintock Channel and the Gulf of Boothia, Nunavut: implications for ringed seal and polar bear habitat », *Arctic*, vol. 57, n° 1, 2004, pp. 1–14.

Barber, D., L. Fortier et M. Byers. « The incredible shrinking sea ice », *Policy Options*, vol. 27, n° 1, 2006, pp. 66–71.

Barber, V., G. Juday et B. Finney. « Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress », *Nature*, vol. 405, n° 6787, 2000, pp. 668–672.

Barron, M. *A summary of health related effects of climate change in four Arctic regions organized by health determinant, based on a synthesis of project and workshop reports*, rédigé par Barron Research Consulting, Dundas (Ontario) pour Santé Canada, Bureau du changement climatique et de la santé, 2006.

Barrow, E., B. Maxwell et P. Gachon. Climate variability and change in Canada: past, present and future, Environnement Canada, Service météorologique du Canada, *ACSD Science Assessment Series* n° 2., 2004.

Barry, R.G. « Canada's cold seas », dans *Canada's Cold Environments*, H.M. French et O. Slaymaker (éd.), McGill University Press, Montréal (Québec), 1993, pp. 29–61.

Bathurst Inlet Port and Road Joint Venture Ltd. Bathurst port and road project, Bathurst Inlet Port and Road Joint Venture Ltd 2003, <http://www.nunalogistics.com/projects/clients/bathurst/index.html>, [consultation : 10 mai 2007].

Bathurst Inlet Port and Road Joint Venture Ltd. The Bathurst inlet port and road project, Bathurst Inlet Port and Road Joint Venture Ltd, 2007, < http://www.bipr.ca/>, [consultation : 16 août 2007].

Belchansky, G.I., D.C. Douglas et N.G. Platonov. « Spatial and temporal variations in the age structure of Arctic sea ice », *Geophysical Research Letters*, vol. 32, article n° L18504, 2005, doi:10.1029/2005GL023976.

Beltaos, S. et T.D. Prowse. « Climate impacts on extreme ice jam events in Canadian rivers », *Hydrological Sciences Journal*, vol. 46, n°1, 2001, pp. 157–181.

Beorger, T.R. *Accord sur les revendications territoriales du Nunavut : négociations du contrat de mise en œuvre pour la deuxième période de planification 2003-2013* — Rapport final du conciliateur : « le Projet Nunavut », Affaires indiennes et du Nord Canada, 2006, 74 p.,

Berkes, F. et D. Jolly. « Adapting to climate change: socio-ecological resilience in a Canadian western Arctic community », *Conservation Ecology*, vol. 5, n° 2, 2002, pp. 18–33.

Berkes, F., N. Bankes, M. Marschke, D. Armitage et D. Clark. « Cross-scale institutions and building resilience in the Canadian North », dans *Breaking Ice: Renewable Resource and Ocean Management in the Canadian North*, F. Berkes, R. Huebert, H. Fast, M. Manseau et A. Diduck (éd.), University of Calgary Press, Calgary (Alberta), 2005, pp. 225–247.

Berner, J., C. Furgal, P. Bjerregaard, M. Bradley, T. Curtis, E. DeFabo, J. Hassi, W. Keatinge, S. Kvernmo, S. Nayha, H. Rintamaki et J. Warren. « Human health », dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge (Royaume-Uni), 2005, pp. 863–906.

BGC Engineering Ltd. *Implications of global warming and the precautionary principle in northern mine design and closure*, rapport rédigé par BGC Engineering Ltd. pour Affaires indiennes et du Nord Canada, 2003.

Blanchet, C., E. Dewailly, P. Ayotte, S. Bruneau, O. Receveur et B.J. Holub. « Contribution of selected traditional and market foods to the diet of Nunavik Inuit women », *Revue canadienne de la pratique et de la recherche en diététique*, vol. 61, n° 2, 2000, pp. 1–9.

Blanken, P.D., W.R. Rouse, A.D. Culf, C. Spence, L.D. Boudreau, J.N. Jasper, B. Kochtubajda, W.M. Schertzer, P. Marsh et D. Verseghy. « Eddy covariance measurements of evaporation from Great Slave Lake, Northwest Territories, Canada », *Water Resources Research*, vol. 36, 2000, pp. 1069–1078.

Bogoyavlenskiy, D. et A. Siggner. « Arctic demography », dans *Arctic Human Development* Report, N. Einarsson, J.N. Larsen, A. Nilsson et O.R. Young (éd.), Stefanson Arctic Institute, Akureyri (Islande), 2004, pp. 27–41.

Bonsal, B.R. et T.D. Prowse. « Trends and variability in spring and autumn 0°C isotherm dates over Canada », *Climatic Change*, vol. 57, n° 3, 2003, pp. 341–358.

Bonsal, B.R. et T.D. Prowse. « Regional assessment of GCM-simulated current climate over northern Canada », *Arctic*, vol. 59, n° 2, 2006, pp. 115–128.

Bonsal, B.R., A. Shabbar et K. Higuchi. « Impacts of low frequency variability modes on Canadian winter temperature », *International Journal of Climatology*, vol. 21, n° 1, 2001a, pp. 95–108.

Bonsal, B.R., X. Zhang, L.A. Vincent et W.D. Hogg. « Characteristics of daily and extreme temperature over Canada », *Journal of Climate*, vol. 14, n° 9, 2001b, pp. 1959–1976.

Bradley, M.J., S.J. Kutz, E. Jenkins et T.M. O'Hara. « The potential impact of climate change on infectious diseases of Arctic fauna », *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 65, n° 4, 2005, pp. 468–477.

Broll, G., C. Tarnocai et J. Gould. *Long-term high Arctic ecosystem monitoring in Qattinirpaaq National Park, Ellesmere Island, Canada*, compte rendu de la 8e Conférence internationale sur le pergélisol tenue en juillet 2003 à Zurich (Suisse), M. Phillips, S.M. Springman et L.U. Arenson (éd.), A.A. Balkema, Lisse (Pays-Bas), 2003, pp. 89–94.

Bromley, B., J. Row, M. Salkeld, P. Sjoman, T. Weis et P. Cobb. *Wha Ti Community Energy Plan: options for energy supply and management for Wha Ti, Northwest Territories*, Ecology North and Pembina Institute, Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest), 2004, 138 p.

Brotton, J. et G. Wall. « Climate change and the Bathurst Caribou herd in the Northwest Territories, Canada », *Climatic Change*, vol. 35, n° 1, 1997, pp. 35–52.

Brown, J., K.M. Hinkel et F.E. Nelson. « The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) Program: research designs and initial results », *Polar Geography*, vol. 24, n° 3, 2000, pp. 165–258.

Brown, R.D. « Northern Hemisphere snow cover variability and change, 1915–1997 », *Journal of Climate*, vol. 13, n° 13, 2000, pp. 2339–2355.

Brown, R.D. et R.O. Braaten. « Spatial and temporal variability of Canadian monthly snow depths, 1946–1995 », *Atmosphere-Ocean*, vol. 36, n° 1, 1998, pp. 37–54.

Brown, R.D. et P. Coté. « Interannual variability of landfast ice thickness in the Canadian high Arctic, 1950–89 », *Arctic*, vol. 45, n° 3, 1992, pp. 273–284.

Brown, R.D., M.N. Demuth, B.E. Goodison, P. Marsh, T.D. Prowse, S.L. Smith et M.-K. Woo. « variabilité et changements climatiques — cryosphère », dans *Menaces pour la disponibilité de l'eau au Canada*, Environnement Canada, Service météorologique du Canada, Institut national de recherche sur les eaux, Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE, no 3 et ACSD Science Assessment Series, n° 1, 2004, pp. 125–136.

Brown, R.J.E. *Permafrost in Canada: Its Influence on Northern Development*, University of Toronto Press, Toronto (Ontario), 1970, 234 p.

Bruce, J., I. Burton, H. Martin, B. Mills et L. Mortsch. *Water sector: vulnerability and adaptation to climate change*, rapport final rédigé pour le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 2000, 144 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/37_e.pdf>, [consultation : 20 juillet 2007].

Burgess, M.M. et S.L. Smith. *17 years of thaw penetration and surface settlement observations in permafrost terrain along the Norman Wells pipeline, Northwest Territories, Canada*, compte rendu de la 8e Conférence internationale sur le pergélisol tenue en juillet 2003 à Zurich (Suisse), M. Phillips, S.M. Springman et L.U. Arenson (éd.), A.A. Balkema, Lisse (Pays-Bas), 2003, pp. 107–112.

Callaghan, T.V., L.O. Björn, F.S. Chapin, III, Y. Chernov, T.R. Christensen, B. Huntley, R. Ims, M. Johansson, D.J. Riedlinger, S. Jonasson, N. Matveyeva, W. Oechel, N. Panikov et G. Shaver. « Arctic tundra and polar desert ecosystems », dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Londres (Royaume-Uni), 2005, pp. 243–352.

Carmack E.C. « The Arctic Ocean's freshwater budget: sources, storage and export », dans *The Freshwater Budget of the Arctic Ocean*, E.L. Lewis, E.P. Jones, P. Lemke, T. D. Prowse et P. Wadhams (éd.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (Pays-Bas), 2000, pp. 91–126.

Chapin, F.S., III, M. Berman, T.V. Callaghan, P. Convey, A.S. Crépin, K. Danell, H. Ducklow, B. Forbes, G. Kofinas, A.D. McGuire, M. Nuttall, R. Virginia, O. Young et S.A. Zimov. Polar systems, in *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends. Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, DC, 2005, pp. 717–743.

Chapin, F.S., III, M. Hoel, S.R. Carpenter, J. Lubchenco, B. Walker, T.V. Callaghan, C. Folke, S. Levin, K.-G. Mäler, C. Nilsson, S. Barrett, F. Berkes, A.-S. Crépin, K. Danell, T. Rosswall, D. Starrett, T. Xepapadeas et S.A. Zimov. « Building resilience and adaptation to manage arctic change », *Ambio*, vol. 35, n° 4, 2006, pp. 198–202.

Charron, A. « The Northwest Passage: is Canada's sovereignty floating away? », *International Journal*, vol. 60, n° 3, 2005, pp. 831–848.

Chartrand, J., K. Lysyshyn, R. Couture, S.D. Robinson et M.M. Burgess. *Digital geotechnical borehole databases and viewers for Norman Wells and Tuktoyaktuk, Northwest Territories*, Commission géologique du Canada, Dossier public 3912, 2002, cédérom.

Clague, J.J., B.H. Luckman, R.D. Van Dorp, R. Gilbert, D. Froese, B.J.L. Jensen et A. Reyes. «Rapid changes in the level of Kluane Lake in Yukon Territory over the last millennium», *Quaternary Research*, vol. 66, n° 2, 2006, pp. 342–355.

Clark, D. *Climate change and social/cultural values in the southwest Yukon: a resilience-building perspective*, rapport rédigé pour le Northern Climate Exchange, tenu le 6 mars 2006 à Whitehorse (Yukon), 2006, <http://yukon.taiga.net/swyukon/extranet/social_backgrounder_2.pdf>, [consultation : 31 juillet 2007].

Clarke, R.M. « An overview of Canada's Arctic marine fisheries and their management with emphasis on the Northwest Territories », dans *Perspectives on Canadian Marine Fisheries Management*, L.S. Parsons et W.H. Lear (éd.), *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 226, 1993, pp. 211–241.

Coad, B.W. et J.D. Reist. *Annotated list of the Arctic marine fish of Canada*, rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques, vol. 2674, 2004, 112 p.

Colette, A. *Case studies on climate change and world heritage*, Centre du patrimoine mondial de l'UNESCO, Paris, France, 2007, 79 p.

Collectivité d'Aklavik, S. Nickels, C. Furgal, J. Castleden, B. Armstrong, M. Buell, D. Dillion, R. Fonger et P. Moss-Davies. *Unikkaaqatigiit: putting the human face on climate change — perspectives from Aklavik, Inuvialuit Settlement Region*, publication conjointe du Inuit Tapiriit Kanatami, du Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments à l'Université Laval et du Ajunnginiq Centre à la National Aboriginal Health Organization, Ottawa (Ontario), 2005, 42 p.

Collectivité d'Arctic Bay, S. Nickels, C. Furgal, J. Akumilik et B.J. Barnes. *Unikkaaqatigiit: putting the human face on climate change — perspectives from Arctic Bay, Nunavut*, publication conjointe du Inuit Tapiriit Kanatami, du Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments à l'Université Laval et du Ajunnginiq Centre à la National Aboriginal Health Organization, Ottawa (Ontario), 2006, 26 p.

Collectivités de la région désignée des Inuvialuits, S. Nickels, M. Buell, C. Furgal et H. Moquin. *Unikkaaqatigiit: putting the human Face on climate change — perspectives from the Inuvialuit Settlement Region*, publication conjointe du Inuit Tapiriit Kanatami, du Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments à l'Université Laval et du Ajunnginiq Centre à la National Aboriginal Health Organization, Ottawa (Ontario), 2005, 30 p.

Collectivité de Repulse Bay, S. Nickels, C. Furgal, J. Akumilik et B.J. Barnes. *Unikkaaqatigiit: putting the human face on climate change — perspectives from Respulse Bay, Nunavut*, publication conjointe du Inuit Tapiriit Kanatami, du Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments à l'Université Laval et du Ajunnginiq Centre à la National Aboriginal Health Organization, Ottawa (Ontario), 2005, 30 p.

Collectivité de Tuktoyaktuk, S. Nickels, C. Furgal, J. Castleden, B. Armstrong, R. Binder, M. Buell, D. Dillion, R. Fonger et P. Moss-Davies. *Unikkaaqatigiit: putting the human face on climate change — perspectives from Tuktoyaktuk, Inuvialuit Settlement Region*, publication conjointe du Inuit Tapiriit Kanatami, du Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments à l'Université Laval et du Ajunnginiq Centre à la National Aboriginal Health Organization, Ottawa (Ontario), 2005, 26 p.

Collectivités du Labrador, C. Furgal, M. Denniston, F. Murphy, D. Martin, S. Owens, S. Nickels et P. Moss-Davies. *Unikkaaqatigiit: putting the human face on climate change — perspectives from Labrador*, publication conjointe du Inuit Tapiriit Kanatami, du Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments à l'Université Laval et du Ajunnginiq Centre à la National Aboriginal Health Organization, Ottawa (Ontario), 2005, 54 p.

Collectivités du Nunavik, C. Furgal, S. Nickels et le département de l'Environnement du gouvernement regional de Kativik. *Unikkaaqatigiit: putting the human face on climate change — perspectives from Nunavik*, publication conjointe du Inuit Tapiriit Kanatami, du Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments à l'Université Laval et du Ajunnginiq Centre à la National Aboriginal Health Organization, Ottawa (Ontario), 2005, 20 p.

Collectivités du Nunavut, S. Nickels, C. Furgal, J. Akumilik, B.J. Barnes et M. Buell. *Unikkaaqatigiit: putting the human face on climate change — perspectives from communities of Nunavut*, publication conjointe du Inuit Tapiriit Kanatami, du Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments à l'Université Laval et du Ajunnginiq Centre à la National Aboriginal Health Organization, Ottawa (Ontario), 2005, 23 p.

Comiso, J.C. « A rapidly declining perennial sea ice cover in the Arctic », *Geophysical Research Letters*, vol. 29, n° 20, 2002, p. 1956, doi:10.1029/2002GL015650.

Comité fédéral-provincial-territorial sur le changement climatique et l'évaluation environnementale. Intégration des considérations relatives au changement climatique à l'évaluation environnementale : guide général des praticiens, Agence canadienne d'évaluation environnementale, 2003, <http://www.ceaa-acee.gc.ca/012/014/0_f.htm>, [consultation : 14 mai 2007].

Commission mondiale des barrages. *Introduction to global change*, Secrétariat de la Commission mondiale des barrages, Cape Town, Afrique du Sud, document de travail, 2000, 16 p.

Conference Board du Canada. *Nunavut economic outlook*, Conference Board du Canada, Direction des services économiques, Ottawa (Ontario), 2005, 100 p.

Conseil du Bassin du Fleuve Mackenzie. Points saillants du rapport présenté par le Conseil du bassin de fleuve Mackenzie sur l'état de l'écosystème aquatique Mackenzie River basin state of the aquatic ecosystem report 2003, Mackenzie River Basin Board, Fort Smith (Territoires du Nord-Ouest), 2004, 10 p., <http://www.mrbb.ca/documents/Final%20MRBB4%20%20HighlightsFrSingle.pdf>, [consultation : 31 juillet 2007].

Conservation of Arctic Flora and Fauna. *Arctic flora and fauna: status and conservation*, Conservation of Arctic Flora and Fauna, Edita, Helsinki (Finland), 2001, 272 p.

Council of Yukon First Nations. *Health status of Yukon First Nations*, Council of Yukon First Nations, Whitehorse, Yukon, 2006.

Council of Yukon First Nations et Arctic Athabaskan Council. *Yukon First Nations Climate Change Forum*, rapport d'un atelier tenu les 26 et 27 février 2003 à Whitehorse (Yukon), 2003, 5 p., <http://www.arcticathabaskancouncil.com/aacDocuments/public/CCForum.pdf>, [consultation : 31 juillet 2007].

Couture, R., S.D. Robinson et M.M. Burgess. *Climate change, permafrost degradation, and infrastructure adaptation: preliminary results from a pilot community case study in the Mackenzie valley*, Commission géologique du Canada, Recherches en cours 2000-B2, 2000, 9 p.

Couture, R., S.D. Robinson et M.M. Burgess. *Climate change, permafrost degradation and impacts on infrastructure: two case studies in the Mackenzie Valley*, compte-rendu de la 54e Conférence de la Société canadienne de géotechnique, Calgary(Alberta), vol. 2, 2001, pp. 908–915.

Couture, R., S. Smith, S.D. Robinson, M.M. Burgess et S. Solomon. *On the hazards to infrastructure in the Canadian North associated with thawing of permafrost*, compte rendu de Geohazards 2003, 3e Conférence canadienne sur la geotechnique et les risques naturels, Société canadienne de géotechnique, 2003, pp. 97–104.

Croasdale, K.R. « Climate change impacts on northern offshore petroleum operations », dans *Impacts of Climate Change on Resource Management in the North*, G. Wall (éd.), University of Waterloo, Waterloo (Ontario), Department of Geography Publication Series, Publication hors-série n° 16, 1993, pp. 175–184.

Curtis, T., S. Kvernmo et P. Bjerregaard. « Changing living conditions, lifestyle and health », *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 64, n° 5, 2005, pp. 442–450.

Davidson, D.J., T. Williamson et J.R. Parkins. « Understanding climate change risk and vulnerability in northern forest-based communities », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 33, n° 11, 2003, pp. 2252–2261.

den Hartog, G. et H.L. Ferguson. « Evaporation », planche 17 dans *Hydrological Atlas of Canada*, Département des Pêches et de l'Environnement du Canada, 1978.

Derocher, A.E., N.J. Lunn et I. Stirling. « Polar bears in a warming climate », *Integrative and Comparative Biology*, vol. 44, n° 2, 2004, pp. 163–176.

Dery, S.J., M. Stieglitz, E.C. McKenna et E.F. Wood. « Characteristics and trends of river discharge into Hudson, James, and Ungava Bays, 1964–2000 », *Journal of Climate*, vol. 18, n° 14, 2005, pp. 2540–2557.

Després, C., A. Beuter, F. Richer, K. Poitras, A. Veilleux, P. Avotte, E. Dewailly, D. Saint-Amour et G. Muckle. « Neuromotor functions in Inuit preschool children exposed to Pb, PCBs, and Hg », *Neurotoxicology and Teratology*, vol. 27, n° 2, 2005, pp. 245–257.

Dickson, D.L. et H.G. Gilchrist. « Status of marine birds of the southeastern Beaufort Sea », *Arctic*, vol. 55, n° 1, 2002, pp. 46–58.

Dore, M.H.I. et I. Burton. *The costs of adaptation to climate change in Canada: a stratified estimate by sectors and regions — social infrastructure*, rapport final remis au Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario), 2001, 338 p., <http://c-ciarn.mcgill.ca/dore.pdf>, [consultation : 31 juillet 2007].

Dowdeswell, J.A. et J.O. Hagen. « Arctic ice masses », dans *Mass Balance of the Cryosphere*, J.L. Bamber et A.J. Payne (éd.), Cambridge University Press, Cambridge (Royaume-Uni), 2004, pp. 527–558.

Drummond, K.J. Canada's discovered oil and gas resources north of 60°, Search and Discovery Article #10102, 2006, 7 p., <http://www.searchanddiscovery.net/documents/2006/06022drummond/index.htm>, [consultation : 23 juillet 2007].

Duguay, C.R., T.D. Prowse, B.R. Bonsal, R.D. Brown, M.P. Lacroix et P. Ménard. « Recent trends in Canadian lake ice cover », *Hydrological Processes*, vol. 20, n° 4, 2006, pp. 781–801.

Duhaime, G., A. Lemelin, V. Didyk, O. Goldsmith, G. Winther, A. Caron, N. Bernard et A. Godmaire « Arctic economies », dans *Arctic Human Development Report*, N. Einarsson, J.N. Larsen, A. Nilsson et O.R. Young (éd.), Steffanson Arctic Institute, Akureyri, Islande, 2004, pp. 69–84.

Dyke, L.D. « Contaminant migration through the permafrost active layer, Mackenzie Delta area, Northwest Territories, Canada », *Polar Record*, vol. 37, n° 202, 2001, pp. 215–228.

Easterling, W.E., W.H. Hurd et J.B. Smith. Coping with global climate change: the role of adaptation in the United States, Pew Centre on Global Climate Change, Arlington, Virginie, 2004, 40 p., <http://www.pewclimate.org/docUploads/Adaptation.pdf>, [consultation : 31 juillet 2007].

EBA Engineering Consultants Ltd. *Tailings management plan and preliminary design of retention structures*, rapport remis à BHP Billiton Diamonds Inc., décembre 1995.

EBA Engineering Consultants Ltd. *Tibbitt to Contwoyto Winter Road: Project Description Report*.

Einarsson, N., J.N. Larsen, A. Nilsson et O.R. Young (éd.). Arctic Human Development Report, Steffanson Arctic Institute, Akureyri, Islande, 2004, 242 p.

Environmental Studies Research Funds. Drilling waste management best recommended practices, Environmental Studies Research Funds, Calgary (Alberta), 2004, 43 p., <http://dsp-psd.pwgsc.gc.ca/Collection/NE22-4-152-2004E.pdf>, [consultation :8 août 2007].

Environnement Canada. *Climate change impacts on permafrost engineering design*, Environnement Canada, Groupe de recherche sur l'adaptation environnementale, 1998.

Environnement Canada. *Normales et moyennes climatiques au Canada* (1971-2000), Environnement Canada, 2006, <http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climate_normals/index_f.html>, [consultation : 23 juillet 2007].

Environnement Canada. « National Snow Information System for Water », dans *State of the Canadian Cryosphere*, Environnement Canada, 2007, <http://www.socc.ca/nsisw/>, [consultation : 30 juillet 2007].

Evans, C.K., J.D. Reist et C.K. Minns. *Life history characteristics of freshwater fishes occurring in the Northwest Territories and Nunavut, with major emphasis on riverine habitat requirements*, Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques, vol. 2614, 2002, 169 p.

Ferguson, S.H., I. Stirling et P. McLoughlin. « Climate change and ringed seals (Phoca hispida) recruitment in western Hudson Bay », *Marine Mammal Science*, vol. 21, 2005, pp. 121–135

Flannigan, M.D., B.J. Stocks et B.M. Wotton. « Climate change and forest fires », *Science of the Total Environment*, vol. 262, 2000, pp. 221–229.

Flato, G. et G. Brown. « Variability and climate sensitivity of landfast arctic sea ice », *Journal of Geophysical Research*, vol. 101, 1996, pp. 25 767–25 777.

Forbes, D.L. « Coastal erosion », dans *Encyclopedia of the Arctic*, M. Nuttall (éd.), Routledge, 2005, pp. 391–393.

Forbes, D.L., M. Craymer, G.K. Manson et S.M. Solomon. « Defining limits of submergence and potential for rapid coastal change in the Canadian Arctic », *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*, vol. 482, 2004, pp. 196–202.

Ford J. et B. Smit. « A framework for assessing the vulnerability of communities in the Canadian Arctic to risks associated with climate change », *Arctic*, vol. 57, 2004, pp. 389–400.

Ford, J., T. Bell et D. St-Hilaire. *Climate change, infrastructure risks, and vulnerability of Arctic coastal communities: a case study from Arctic Bay, Canada*, compte rendu de la Rencontre scientifique annuelle d'ArcticNet 2006, Victoria (Colombie-Britannique), 2006a, pp. 52–53.

Ford, J., T. Pearce, B. Smit, J. Wandel, M. Allurut, K. Shappa, H. Ittusujurat et K. Qrunnut. « Reducing vulnerability to climate change in the Arctic: the case of Nunavut, Canada », *Arctic*, vol. 60, 2007, pp. 150–166.

Ford, J., B. Smit et J. Wandell. « Vulnerability to climate change in the Arctic: a case study from Arctic Bay, Nunavut », *Global Environmental Change*, vol. 16, 2006b, pp. 145–160.

Fowler, C., W.J. Emery et J. Maslanik. « Satellite-derived evolution of Arctic sea ice age: October 1978 to March 2003 », *Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 1, 2004, pp. 71–74.

Freeman, M.M.R. et G. Wenzel. « The nature and significance of polar bear conservation hunting in the Canadian Arctic », *Arctic*, vol. 59, n° 1, 2006, pp. 21–30.

French, H.M. « Terrain, land use and waste drilling fluid disposal problems », *Arctic*, vol. 33, 1980, pp. 794–806.

French, H.M. et O. Slaymaker. « Canada's cold landmass », dans *Canada's Cold Environments*, H.M. French et O. Slaymaker (éd.), McGill University Press, Montréal (Québec), 1993, pp. 3–27.

Fulton, R.J. (éd.). *Géologie quaternaire du Canada et du Groenland; Commission géologique du Canada, Géologie du Canada*, no 1 (aussi *Geological Society of North America*, The Geology of North America, vol. K-1), 1989, 839 p.

Furgal, C.M. et J. Seguin. « Climate change, health and community adaptive capacity: lessons from the Canadian North », *Environmental Health Perspectives*, vol. 114, n° 12, 2006, pp. 1964–1970.

Furgal, C., M. Buell, L. Chan, V. Edge, D. Martin et N. Ogden. « Canadian North », dans *Assessment of Health Vulnerabilities to a Changing Climate in Canada 2007*, J. Seguin (éd.), Santé Canada, sous presse.

Furgal, C.M., C. Fletcher et C. Dickson. *Ways of knowing and understanding: towards convergence of traditional and scientific knowledge of climate change in the Canadian North*, rapport rédigé pour Environnement Canada, 2006, 73 p.

Furgal, C., S. Kalhok, E. Loring et S. Smith. *Knowledge in action: northern contaminants program structures, processes and products*, Affaires indiennes et du Nord Canada, Canadian Arctic Contaminants Assessment Report II, 2003, 90 p.

Furgal C., D. Martin et P. Gosselin. « Climate change and health in Nunavik and Labrador: lessons from Inuit knowledge », dans *The Earth Is Faster Now: Indigenous Observations of Arctic Environmental Change*, I. Krupnik et D. Jolly (éd.), Arctic Research Consortium of the United States en collaboration avec le Arctic Studies Center, Smithsonian Institution, Fairbanks, Alaska, 2002, pp. 266–299.

Ganapolski, A. et S. Rahmstorf. « Rapid changes of glacial climate simulated in a coupled climate model », *Nature*, vol. 409, 2001, pp. 152–158.

Gaston, A.J., H.G. Gilchrist et M. Hilfner. « Climate change, ice conditions and reproduction in the Arctic nesting marine bird: Brunnich's guillemoet (Uria lomvia L.) », *Journal of Animal Ecology*, vol. 74, 2005, pp. 832–841.

Gearheard, S., W. Matumeak, I. Angutikjuaq, J. Maslanik, H.P. Huntington, J. Leavitt, D. Matumeak-Kagak, G. Tigullaraq et R.G. Barry. « "It's not that simple": a comparison of sea ice environments, uses of sea ice, and vulnerability to change in Barrow, Alaska, USA, and Clyde River, Nunavut, Canada », *Ambio*, vol. 35, n° 4, 2006, pp. 203–211.

Gibson, J.J., T.D. Prowse et D.L. Peters. « Hydroclimatic controls on water balance and water level variability in Great Slave Lake », *Hydrological Processes*, vol. 20, 2006, pp. 4155–4172.

Gilchrist, H.G et G.J. Robertson. « Observation of mating birds and mammals wintering at polynyas and ice edges in the Belcher Islands, Nunavut, Canada », *Arctic*, vol. 53, n° 1, 2000, pp. 61–68.

Goering, D.J. « Experimental investigation of air convection embankments for permafrost-resistant roadway design », dans *Proceedings of 7th International Conference on Permafrost*, A.G. Lewkowicz et M. Allard (éd.), Université Laval, Québec (Québec), Collection Nordicana, n° 54, 1998, pp. 319–326.

Goering, D.J. « Thermal response of air convection embankments to ambient temperature fluctuations », dans *Proceedings of 8th International Conference on Permafrost*, July 2003, Zurich Switzerland, M. Phillips, S.M. Springman et L.U. Arenson (éd.), A.A. Balkema, Lisse, Pays-Bas, 2003, pp. 291–296.

Gouvernement du Canada. *Troisième rapport national du Canada sur les changements climatiques : mesures prises en vertu de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements*, Gouvernement du Canada, 2001, 280 p., <http://dsp-psd.communication.gc.ca/Collection/En21-125-2001F.pdf>, [consultation : 30 juillet 2007].

Government of Northwest Territories. *Injury in the Northwest Territories — a descriptive report*, Government of the Northwest Territories, Department of Health and Social Services, 2004, 173 p.

Government of Northwest Territories. *The NWT health status report: 2005*, Government of the Northwest Territories, Northwest Territories Health and Social Services, 2005, 96 p.

Government of Nunavut. *Adaptation action in Arctic communities*, compte rendu de l'Atelier sur le changement climatique à Nunavut,tenu du 6 au 8 décembre 2006 à Iqaluit (Nunavut), Government of Nunavut, Department of the Environment, Environmental Protection Division, 2006.

Government of Nunavut et Nunavut Tunngavik Incorporated. *Nunavut fisheries strategy*, 2005, 50 p. <http://www.gov.nu.ca/Nunavut/environment/home/ Fisheries%20Strategy.pdf>, [consultation : 11 avril 2006].

Government of Yukon. Forestry, Government of Yukon, Department of Energy, Mines and Resources, 2006, <http://www.emr.gov.yk.ca/forestry/>, [consultation : 23 juillet 2007].

Gray, D.M. et T.D. Prowse. « Snow and floating ice », dans *Handbook of Hydrology*, D. Maidment (éd.), McGraw-Hill Publishers, New York, New York, 1993, pp. 7.1–7.58

Green, D. *2004 fire weather report: end of year report*, Government of Yukon Community Services, Wildland Fire Management, 2004.

Griffiths, F. « The shipping news: Canada's Arctic sovereignty not on thinning ice », *International Journal*, vol. 58, n° 2, 2003, pp. 257–282.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Résumé à l'intention des décideurs », dans *Bilan 2001 des changements climatiques : les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge,Royaume-Uni et New York, New York, 2001a, pp. 1-20.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Résumé à l'intention des décideurs », dans *Bilan 2001 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité*, contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.J. McCarthy, O.F.

Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge,Royaume-Uni et New York , New York, 2001b, pp. 1-17.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for Policymakers », dans *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007a, pp. 1-18.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for Policymakers », dans *Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (éd.) Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2007b, pp. 1-23.

Gunn, A., F. Miller, S.L. Barry et A. Buchan. « A near-total decline in caribou on Prince of Wales, Somerset, and Russell Islands, Canadian Arctic », *Arctic*, vol. 59, n° 1, 2006, pp. 1–13.

Guyot, M., C. Dickson, K. Macguire, C. Paci, C. Furgal et H.M. Chan. « Local observations of climate change and impacts on traditional food security in two northern Aboriginal communities », *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 65, n° 5, 2006, pp. 403–415.

Hamilton, L. et O. Otterstad. « Demographic change and fisheries dependence in the North Atlantic », *Human Ecology Review*, vol. 5, 1998, pp. 16–22.

Hamilton, L., P. Lyster et O. Otterstad. « Social change, ecology and climate in 20th-century Greenland », *Climatic Change*, vol. 41, 2000, pp. 193–211.

Harding, L.E. « The future of Peary caribou (Rangifer tarandus pearyi) in a changing climate », dans *Proceedings of the Species at Risk 2004 Pathways to Recovery Conference*, T.D. Hooper (éd.), conférence tenue du 2 au 6 mars 2004 à Victoria (Colombie-Britannique), 2004.

Harding, R., P. Kuhry, T.R. Christensen, M.T. Sykes, R. Dankers et S. van der Linden. « Climate feedbacks at the tundra-taiga interface », *Ambio*, Rapport special, vol. 12, 2002, pp. 47–55.

Hauer, G., M. Weber et D. Price. *Climate change impacts on agriculture and forestry land use patterns: developing and applying an integrated impact assessment model*, rapport inédit rédigé pour le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 2001, 61 p.

Hayley, D.W. Climate change — an adaptation challenge for northern engineers, *The PEGG* (journal de l'Association of Professional Engineers, Geologists, and Geophysicists of Alberta), janvier 2004.

Hebert, P.D.N. Canada's aquatic environment habitats, CyberNatural Software, University of Guelph, Guelph (Ontario), 2002, <www.aquatic.uoguelph.ca>, [consultation : 8 août 2007].

Heginbottom, J.A., M.-A. Dubreuil et P.A. Harker. Canada — permafrost, Ressources naturelles Canada, *Atlas du Canada*, MCR 4177, 1995.

Hoeve, T.E., F. Zhou, A. Zhang et J. Chlar. *Assessment of building foundation sensitivity to climate change in the Northwest Territories*, compte rendu de la conference Climate Change Technology, 2006, Institut canadien des ingénieurs, 2006, pp. 1–9.

Hogg, E.H. et R.W. Wein. « Impacts of drought on forest growth and regeneration in the southwestern Yukon, Canada », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 35, n° 1, 2005, pp. 2141–2150.

Holloway, G. et T. Sou. « Has Arctic sea ice rapidly thinned? », *Journal of Climate*, vol. 15, 2002, pp. 1691–1701.

Huebert, R. « Climate change and Canadian sovereignty in the Northwest Passage », *Isuma*, vol. 2, n° 4, 2001, pp. 86–94.

Huebert, R. « The shipping news, part II: how Canada's Arctic sovereignty is on thinning ice », *International Journal*, vol. 58, n° 3, 2003, pp. 395–308.

Hughes, O.L. « Terrain and permafrost: their influence on northern construction », dans *Proceedings of Conference — Northern Hydrocarbon Development in the Nineties: A Global Perspective*, F.T. Frankling (éd.), Carleton University, Geotechnical Science Laboratories, Ottawa (Ontario), 1989, pp. 109–118.

Huntington, H., S. Fox, F. Berkes, I. Krupnik, A. Whiting, M. Zacharof, G. McGlashan, M. Brubaker, V. Gofman, C. Dickson, C. Paci, S. Tsetta, S. Gargan, R. Fabian, J. Paulette, M. Cazon, D. Giroux, P. King, M. Boucher, L. Able, J. Norin, A. Laboucan, P. Cheezie, J. Pottras, F. Abraham, B. T'selie, J. Pierrot, P. Cotchilly, G. Lafferty, J. Rabesca, E. Camille, J. Edwards, J. Carmichael, W. Elias, A. de Palham, L. Pitkanen, L. Norwegian, U. Qujaukitsoq, N. Moller, T. Mustonen, M. Niceminen, H. Eklund, E. Helander, S. Zavalko, J. Terva, A. Cherenkov, A. Henshaw, T. Fenge, S. Nickels et S. Wilson. « The changing Arctic: indigenous perspectives », dans *Arctic Climate Impact* Assessment, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 61–98.

Imperial Oil Resources Ventures Limited. *Environmental impact statement, overview and impact summary* — volume 1, remis au Conseil national de l'énergie et le Joint Review Panel par Imperial Oil Resources Ventures Limited, Calgary (Alberta), 2004.

Instanes, A., O. Anisimov, L. Brigham, D. Goering, L.N. Khrustalev, B. Ladanyi et J.O. Larsen. « Infrastructure: buildings, support systems, and industrial facilities », dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 907–944.

Jenkins, R.E., P. Morse et S.V. Kokelj. *Snow cover and subnivean and soil temperatures at abandoned drilling mud sumps, Mackenzie Delta, Northwest Territories, Canada*, compte rendu de l'atelier 2005 Northern Latitudes Mining Reclamation Workshop, tenu à Dawson City (Yukon) en mai 2005.

Johannessen, O.M., L. Bengtsson, M.W. Miles, S.I. Kuzmina, V.A. Semenov, G.V. Alekseev, A.P. Nagurnyi, V.F. Zakharov, L.P. Bobylev, L.H. Pettersson, K. Hasselmann et H.P. Cattle. « Arctic climate change: observed and modelled temperature and sea-ice variability », *Tellus*, vol. 56A, n° 4, 2004, pp. 328–341, doi:10.1111/j.1600-0870.2004.00060.x.

Johannessen, O.M., E.V. Shalina et M.W. Miles. « Satellite evidence for an Arctic sea ice cover in transformation », *Science*, vol. 286, 1999, pp. 1937–1939.

Johnstone, J.F. et F.S. Chapin, III. « Non-equilibrium succession dynamics indicate continued northern migration of lodgepole pine », *Global Change Biology*, vol. 9, n° 10, 2006, pp. 1401–1409.

Juday, G.P. et V.A. Barber. Alaska tree ring data, Bonanza Creek Long-Term Ecological Research Database, Fairbanks, Alaska, 2005, <http://www.lter.uaf.edu/data_detail.cfm?datafile_pkey=9>, [consultation : 31 juillet 2007].

Juday, G.P., V. Barber, P. Duffy, H. Linderhorm, S. Rupp, S. Sparrow, E. Vaganov et J. Yarie. « Forests, land management and agriculture », dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 781–862.

Kattsov, V.M., E. Kallen, H. Cattle, J. Christensen, H. Drange, I. Hanssen-Bauer, T. Johannesen, I. Karol, J. Raisanen, G. Svensson et S. Vavulin. « Future climate change: modeling and scenarios for the Arctic », dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 100–150.

Kelmelis, J., E. Becker et S. Kirtland. *Workshop on the foreign policy implications of arctic warming — notes from an international workshop*, United States Geological Survey, Open-File Report 2005-1447, 2005, 44 p.

Kerr, I.A. « Future water levels and flows for Great Slave and Great Bear Lakes, Mackenzie River and Mackenzie Delta », dans *Mackenzie Basin Impact Study*, S.J. Cohen(éd.), Environnement Canada, 1997, pp. 73–91.

Kershaw, G.P. *Permafrost landform degradation over more than half a century, Macmillan/Caribou Pass region, NWT/Yukon, Canada*, compte rendu de la 8e Conférence internationale sur le pergélisol, tenue en juillet 2003 à Zurich, Suisse, M. Phillips, S.M. Springman et L.U. Arenson (éd.), A.A. Balkema, Lisse, Pays-Bas, 2003, pp. 543–548.

Killaby, G. « "Great game in a cold climate": Canada's Arctic sovereignty in question », *Journal de l'Armée du Canada*, vol. 6, n° 4 (hiver 2005–2006), 2006, pp. 31–40.

Klein, D.R., L.M. Baskin, L.S. Bogoslovskya, K. Danell, A. Gunn, D.B. Irons, G.P. Kofinas, K.M. Kovacs, M. Magomedova, R.H. Meehan, D.E. Russell et P. Valkenburg. « Management and conservation of wildlife in a changing Arctic environment », dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 597–648.

Koerner, R.M. « Mass balance of glaciers in the Queen Elizabeth Islands, Nunavut, Canada », *Annals of Glaciology*, vol. 42, 2005, pp. 417–423.

Kovats, S., K.L. Ebi et B. Menne. *Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climate change*, Organisation mondiale de la santé, Geneve, Suisse, Health and Global Environmental Change Series, n° 1, 2003, 111 p.

Kraemer, L.D., J. Berner et C. Furgal. « The potential impact of climate on human exposure to contaminants in the Arctic », *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 64, n° 5, 2005, pp. 498–509.

Kreutz, K.J., P.A. Mayewski, L.D. Meeker, M.S. Twickler, S.I. Whitlow et I.I. Pittalwala. « Bipolar changes in atmospheric circulation during the Little Ice Age », *Science*, vol. 277, 1997, pp. 1294–1296.

Krupnik, I. et D. Jolly (éd.). *The Earth is Faster Now: Indigenous Observations of Arctic Environmental Change*, Arctic Research Consortium of the United States, Arctic Studies Centre, Smithsonian Institution, Washington, DC, 2002, 383 p.

Kuhnlein, H.V., O. Receveur, H..M. Chan et E. Loring. *Assessment of dietary benefit/risk in Inuit communities*, Centre for Indigenous Peoples' Nutrition and Environment (CINE), McGill University, Montréal (Québec), 2000.

Kunuk, M. et I. Stevens. *The Nunavut transportation system — evolving for Nunavummiut and their economy*, présentation technique faite à la conférence annuelle de l'Association des transports du Canada en septembre 2003 à St. John's (Terre-Neuve-Labrador), 2003, 21 p.

Kutz, S.J., E.P. Hoberg, J. Nagy, L. Polley et B. Elkin. « 'Emerging' parasitic infections in arctic ungulates », *Integrative and Comparative Biology*, vol. 44, n° 2, 2004, pp. 109–118.

Labrecque, S. et C.R. Duguay. *Étude de la dynamique spatio-temporelle récente des lacs thermokarstiques de la plaine Old Crow Flats, Yukon, par télédétection*, compte rendu du 23e Symposium canadien de télédétection et du 10e Congres de l'Association de télédétection du Québec, 2001, pp. 585–590.

Lacroix, M.H. *L'impact des changements climatiques sur le savoir traditionnel Inuit*, thèse de maîtrise (environnementale) inédite, Centre universitaire de formation environnementale, Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Québec), 2006.

Lacroix, M.P., T.D. Prowse, B.R. Bonsal, C.R. Duguay et P. Menard. « River ice trends in Canada », dans *Proceedings for Canadian Geophysical Union-Hydrology Section Committee on River Ice Processes and the Environment*, 13th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers, Hanover, New Hampshire, atelier tenu du 15 au 16 septembre 2005.

Lafortune, V., C. Furgal, J. Drouin, T. Annanack, N. Einish, B. Etidloie, M. Qirsiq, P. Tookalook et les collectivités de Kangiqsujuaq, Umiujaq, Kangiqsualujjuaq et Kawawachikamach. *Climate change in northern Quebec — access to land and resource issues*, Kativik Regional Government, juin 2004, Kuujjuaq, Nunavik, 2004.

Laidler, G. « Inuit and scientific perspectives on the relationship between sea ice and climate change: the ideal complement? », *Climatic Change*, vol. 78, 2006, pp. 407–444.

Learmonth, J.A., C.D. Macleod, M.B. Santos, G.J. Pierce, H.Q.P. Crick et R.A. Robinson. « Potential effects of climate change on marine mammals », *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, vol. 44, 2006, pp. 431–464.

Lee, R.J. *Changement climatique et évaluation environnementale, Partie 1 : examen des facteurs de changement climatique dans des évaluations antérieures choisies*, Agence canadienne d'évaluation environnementale, Collection de monographies en recherche et développement, 2000, <http://www.ceaa-acee.gc.ca/015/001/005/index_f.htm>, [consultation : 14 mai 2007].

Lemieux, C.J. et D.J. Scott. « Climate change, biodiversity conservation and protected area planning in Canada », *Canadian Geographer*, vol. 49, n° 4, 2005, pp. 384–399.

Lemke, P., J. Ren, R.B. Alley, I. Allison, J. Carrasco, G. Flato, Y. Fujii, G. Kaser, P. Mote, R.H. Thomas et T. Zhang, T. « Observations: changes in snow, ice and frozen ground », dans *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail 1 au Quatrième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York , 2007.

Lemmen, D.L. et F.J. Warren. *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne*, Gouvernement du Canada, 2004, 191 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/pdf/report_f.pdf>, [consultation : 6 mai 2007].

Lenart, E.A., R.T. Bowyer, J. Ver Hoef et R. Ruess. « Climate change and caribou: effects of summer weather on forage », *Revue canadienne de zoologie*, vol. 80, n° 4, 2002, pp. 664–678.

Lied, K. et U. Domaas. « Avalanche hazard assessment in Nunavik and on Cote-Nord, Quebec, Canada », *Institut géotechnique de Norvège*, Oslo, Norvège, 2000.

Loeng, H., K. Brander, E. Carmack, S. Denisenko, K. Drinkwater, B. Hansen, K. Kovacs, P. Livingston, F. McLaughlin, E. Sakshaug, R. Bellerby, H. Browman, T. Furevik, J.M. Grebmeier, E. Jansen, S Jonsson, L. Lindal Jorgensen, S.-A. Malmberg, S. Osterhus, G. Ottersen et K. Shimada. « Marine systems », dans *Arctic Climate Impacts Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 453–538.

Lonergan, S., R. Difrancesco et M.-K. Woo. « Climate change and transportation in northern Canada: an integrated impact assessment », *Climatic Change*, vol. 24, 1993, pp. 331–351.

Macdonald, R.W. « Climate change, risks and contaminants: a perspective from studying the Arctic », *Human and Ecological Risk Assessment*, vol. 11, 2005, pp. 1099–1104.

Macdonald, R.W., T. Harner et J. Fyfe. « Recent climate change in the Arctic and its impact on contaminant pathways and interpretation of temporal trend data », *Science of the Total Environment*, vol. 342, 2005, pp. 5–86.

Mackay, J.R. et C.R. Burn. « The first 20 years (1978–1979 to 1998–1999) of active-layer development, Illisarvik experimental drained lake site, western Arctic coast, Canada », *Revue canadienne des sciences de la Terre*, vol. 39, 2002, pp. 1657–1674.

Magnuson, J.J., D.M. Robertson, R.H. Wynne, B.J. Benson, D.M. Livingstone, T. Arai, R.A. Assel, R.D. Barry, V. Card, E. Kuusisto, N.G. Granin, T.D. Prowse, K.M. Stewart et V.S. Vuglinski. « Ice cover phenologies of lakes and rivers in the Northern Hemisphere and climate warming », *Science*, vol. 289, n° 5485, 2000, pp. 1743–1746.

Mallory, M.L., H.G. Gilchrist, A.J. Fontaine et J.A. Akearok. « Local ecological knowledge of ivory gull declines in Arctic Canada », *Arctic*, vol. 56, 2003, pp. 293–298.

Manson, G.K., S.M. Solomon, D.L. Forbes, D.E. Atkinson et M. Craymer. « Spatial variability of factors influencing coastal change in the western Canadian Arctic », *Geo-Marine Letters*, vol. 25, 2005, pp. 138–145.

Marsh, P. « Snow hydrology », dans *Northern Hydrology: Canadian Perspectives*, T.D. Prowse et C.S.L. Ommanney (éd.), Environnement Canada, Institut national de recherche sur les eaux, *NHRI Science Report* No. 1, 1990, pp. 37–61.

Marsh P. et L.F.W. Lesack. « The hydrologic regime of perched lakes in the Mackenzie Delta: potential responses to climate change », *Limnology and Oceanography*, vol. 41, n° 5, 1996, pp. 849–885.

Marsh, P. et N. Neumann. « Processes controlling the rapid drainage of two ice-rich permafrost-dammed lakes in NW Canada », *Hydrological Processes*, vol. 15, 2001, pp. 3433–3446.

McBean, G., G. Alekseev, D. Chen, E. Forland, J. Fyfe, P.Y. Groisman, R. King, H. Melling, R. Vose et P.H. Whitfield. « Arctic climate: past and present », dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 22–60.

McCarthy, J.J., M. Long Martello, R. Corell, N.E. Selin, S. Fox, G. Hovelsrud-Broda, S.D. Mathiesen, C. Polsky, H. Selin et N.J.C Tyler. « Climate change in the context of multiple stressors and resilience », dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 945–988.

McClelland, J.W., S.J. Dery, B.J. Peterson et M. Stieglitz. « A pan-Arctic evaluation of changes in river discharge during the latter half of the 20th century », *Geophysical Research Letters*, vol. 33, n° 6, article no. L06715, 2006, doi:10.1029/2006GL025773.

McCoy, V.M. et C.R. Burn. « Potential alteration by climate change of the forest fire regime in the boreal forest of central Yukon Territory », *Arctic*, vol. 58, n° 3, 2005, pp. 276–285.

McLain, A.S., J.J. Magnuson et D.K. Hill. « Latitudinal and longitudinal differences in thermal habitat for fishes influenced by climate warming: expectations from simulations », *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, vol. 25, 1994, pp. 2080–2085.

Meier, M.F. et M.B. Dyurgerov. « How Alaska affects the world », *Science*, vol. 297, 2002, pp. 350–351.

Mekis, E. et W.D. Hogg. « Rehabilitation and analysis of Canadian daily precipitation time series », *Atmosphere-Ocean*, vol. 37, 1999, pp. 53–85.

Melling, H. « Sea ice of the northern Canadian Arctic Archipelago », *Journal of Geophysical Research C: Oceans*, vol. 107, 2002, doi:10.1029/2001JC001102.

Michel, F.A. et R.O. van Everdingen. « Changes in hydrogeologic regimes in permafrost regions due to climatic change », *Permafrost and Periglacial Processes*, vol. 5, 1994, pp. 191–195.

Milburn, D. et M.J. Brodie. « Mine reclamation for the Northwest Territories », dans *Proceedings of Arctic Remediation and Contaminated Site Assessment Conference*, Edmonton (Alberta), avril 2003, pp. 49–57.

Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis*, World Resources Institute, Washington, DC, 2005, 86 p.

Miller, F.L. et A. Gunn. « Catastrophic die-off of Peary caribou on the western Queen Elizabeth Islands, Canadian high Arctic », *Arctic*, vol. 56, n° 4, 2003, pp. 381–390.

Miller, F.L., S.J. Barry et W.C. Calvert. « Conservation of Peary caribou based on a recalculation of the 1961 aerial survey on the Queen Elizabeth Islands, Arctic Canada », Rangifer, numéro spécial, vol. 16, 2005, pp. 65–75.

Mine Environmental Neutral Drainage (MEND) Program. *Roles of ice, in the water cover option, and permafrost in controlling acid generation from sulphide tailings*, Ressources naturelles Canada, MEND Report 1.61.1, 1997, 88 p.

Mine Environmental Neutral Drainage (MEND) Program. *Covers for reactive tailings location in permafrost review*, Ressources naturelles Canada, MEND Report 1.61.4, 2004, 111 p.

Moberg, A., D.M. Sonechkin, K. Holmgren, N.M. Datsenko et W. Karlén. « Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data », *Nature*, vol. 433, n° 7026, 2005, pp. 613–617.

Monnett, C. et J.S. Gleason. « Observations of mortality associated with extended open-water swimming by polar bears in the Alaskan Beaufort Sea », *Polar Biology*, vol. 29, 2006, pp. 681–687.

Moquin, H. Freshwater and climate change, ITK *Environment Bulletin, Inuit Tapiriit Kanatami, Ottawa (Ontario)*, n° 3, 2005, pp. 4–9.

Moshenko, R.W., S.E. Cosens et T.A. Thomas. *Stratégie de conservation pour les baleines boréales (Balaena mysticetus) de l'est de l'Arctique canadien*, Programme national de rétablissement des espèces canadiennes en péril (RESCAPÉ), Ottawa (Ontario), Plan de rétablissement national n° 24, 2003, 55 p.

Neudorf, R. *Northwest Territories transportation infrastructure, opportunities and challenges*, présentation faite à la Conférence des transports dans le Nord, tenue du 8 au 10 novembre 2005 à Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest), 2005, <https://dspace.ucalgary.ca/bitstream/1880/44347/1/Russell_Neudorf.pdf>, [consultation : 31 juillet 2007].

Newton, J., C.D.J. Paci et A. Ogden. « Climate change and natural hazards in northern Canada: integrating indigenous perspectives with government policy », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 10, 2005, pp. 541–571.

Nickels, S., C. Furgal, M. Buell et H. Moquin. *Unikkaaqatigit: putting the human face on climate change — perspectives from Inuit in Canada*, publication conjointe du Inuit Tapiriit Kanatami, du Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments de l'Université Laval et du Ajunnginiq Centre à la National Aboriginal Health Organization, Ottawa (Ontario), 2006, 195 p.

Nickels, S., C. Furgal, J. Castelden, P. Moss-Davies, M. Buell, B. Armstrong, D. Dillon et R. Fongern. « Putting the human face on climate change through community workshops », dans *The Earth is Faster Now: Indigenous Observations of Arctic Environmental Change*, I. Krupnik et D. Jolly (éd.), Arctic Research Consortium of the United States, Arctic Studies Centre, Smithsonian Institution, Washington, DC, 2002, pp. 301–333.

Nickels, S., S. Milne et G. Wenzel. « Inuit perceptions of tourism development: the case of Clyde River, Baffin Island », *Études Inuit Studies*, vol. 15, n° 1, 1991, pp. 157–169.

Nixon, J.F. et M. Burgess. « Norman Wells pipeline settlement and uplift movements, Revue canadienne de géotechnique, vol. 36, 1999, pp. 119–135.

Nixon, M., C. Tarnocai et L. Kutny. *Long-term active layer monitoring: Mackenzie Valley, northwest Canada*, compte rendu de la 8e Conférence sur le pergélisol, tenue en juillet 2003 à Zurich (Suisse), M. Phillips, S.M. Springman et L.U. Arenson (éd.), A.A. Balkema, Lisse, Pays-Bas, 2003, pp. 821–826.

Noonan, G., E.C. Weatherhead, S. Gearheard et R.G. Barry. *Arctic weather change: linking indigenous (Inuit) observations with the surface temperature record*, affiche A33D-0938 à la réunion annuelle de l'American Geophysical Union, 2005.

Northern Climate Exchange. « The effects of warmer winters in the NWT: an indication of future trends? », *Weathering Change* (Newsletter of the Northern Climate Exchange), automne, 2006, pp. 1–3.

Nunavut Tunngavik Incorporated. *Elder's Conference on Climate Change*, Nunavut Tunngavik Incorporated, Iqaluit (Nunavut), 2001.

Nunavut Wildlife Management Board. *The Nunavut Wildlife Harvest Study, final report*, Nunavut Wildlife Management Board, Iqaluit (Nunavut), 2004, 822 p.

Nuttall, M., F. Berkes, B. Forbes, G. Kofinas, T. Vlassova et G. Wenzel. « Hunting, herding, fishing and gathering: Indigenous peoples and renewable resource use in the Arctic », dans *Arctic Climate Impacts Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 649–690.

Ogden, A.E. *Forest management in a changing climate, building the environmental information base for southwest Yukon: overview report*, Northern Climate ExChange, Whitehorse (Yukon), 2006, 35 p., <http://yukon.taiga.net/swyukon/>, [accessed July 24, 2007].

Ogden, A.E. et J. Innes. « Incorporating climate change adaptation considerations into forest management and planning in the boreal forest », *International Forestry Review*, vol. 9, no 3, 2007a, pp. 713–733.

Ogden, A.E. et J. Innes. « Perspectives of forest practitioners on climate adaptation in the Yukon and Northwest Territories of Canada », *Forestry Chronicle*, vol. 83, no 4, 2007b, pp. 557–569.

Ohlson, D.W., G.A. McKinnon et K.G. Hirsch. « A structured decision-making approach to climate change adaptation in the forest sector », *Forestry Chronicle*, vol. 81, n° 1, 2005, pp. 97–103.

Oswald C.J. et W.R. Rouse. « Thermal characteristics and energy balance of various-size Canadian Shield lakes in the Mackenzie River basin », *Journal of Hydrometeorology*, vol. 5, 2004, pp. 129–144.

Oswell, J.M. « Geotechnical aspects of northern pipeline design and construction », dans *Proceedings of 4th International Pipeline Conference, American Society of Mechanical Engineers*, conference tenue du 29 septembre au 3 octobre 2002 à Calgary (Alberta). IPC2002-27327 sur cédérom, 2002.

Ouranos. *Sadapter aux changements climatiques*, Consortium Ouranos, Montréal (Québec), 2004. 83 p.

Overpeck, J., K. Hughen, D. Hardy, R. Bradley, R. Case, M. Douglas, B. Finney, K. Gajewski, G. Jacoby, A. Jennings, S. Lamoureux, A. Lasca, G. MacDonald, J. Moore, M. Retelle, S. Smith, A. Wolfe et G. Zielinski. « Arctic environmental change of the last four centuries », *Science*, vol. 278, 1997, pp. 1251–1256.

Overpeck, J.T., M. Sturm, J.A. Francis, D.K. Perovich, M.C. Serreze, R. Benner, E.C. Carmack, F.S. Chapin, III, S.C. Gerlach, L.C. Hamilton, L.D. Hinzman, M. Holland, H.P. Huntington, J.R. Key, J. Lin, A.H. Lloyd, G.M. MacDonald, J. McFadden, D. Noone, T.D. Prowse, P. Schlosser et C. Vorosmarty. « Arctic system on trajectory to new state », *EOS*, vol. 86, n° 34, 2005, pp. 309–311.

Paci, C., S. Tsetta, S. Gargan, R. Fabian, J. Paulette, M. Cazon, D. Giroux, P. King, M. Boucher, L. Able, J. Norin, A. Laboucan, P. Cheezie, J. Poitras, F. Abrahan, B. T'selie, J. Pierrot, P. Cotchilly, G. Lafferty, J. Rabesca, E. Camille, J. Edwards, J. Carmichael, W. Elias, A. de Palham, L. Pitkanen et L. Norwegian. « Denendeh: the Dene Nation's Denendeh Environmental Working Group », dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 78–82.

Pagnan, J.L. *The impact of climate change on Arctic tourism — a preliminary review*, rapport rédigé pour l'Organisation mondiale du tourisme, Djerba, Tunésie, 17 p., 2003, <http://www.world-tourism.org/sustainable/climate/pres/jeanne-pagnan.pdf>, [consultation : 31 juillet 2007].

Parkinson, A.J. et J.C. Butler. « Potential impacts of climate change on infectious diseases in the Arctic », *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 64, n° 5, 2005, pp. 478–486.

Parkinson, C.L., D.J. Cavalieri, P. Gloersen, H.J. Zwally et J.C. Comiso. « Arctic sea ice extents, areas and trends », *Journal of Geophysical Research*, vol. 104, 1999, pp. 20837–20856.

Parlee, B., M. Manseau et Lutsel K'e Dene First Nation. « Using traditional ecological knowledge to adapt to ecological change: Denésoliné monitoring of caribou movements », *Arctic*, vol. 58, n° 1, 2005, pp. 26–37.

Parmesan, C. « Ecological and evolutionary responses to recent climate change », *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, vol. 37, 2006, pp. 637–669.

Parmesan, C. et G. Yohe. « A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems », Nature, vol. 421, 2003, pp. 37–42.

Pharand, D. « The Arctic waters and the Northwest Passage: a final revisit », *Ocean Development and International Law*, vol. 38, n° 1, 2007, pp. 3–69.

Phillips, D. Les climats du Canada, Les Éditions du Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 1990, 176 p.

Poff, N.L., M.M. Brinson et J.W. Day. *Aquatic ecosystems and global climate change*, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginie, 2002. 45 p.

Polyakov, I.V., G.V. Alekseev, R.V. Bekryaev, U.S. Bhatt, R. Colony, M.A. Johnson, V.P. Karklin, D. Walsh et A.V. Yulin. « Long-term ice variability in Arctic marginal seas », *Journal of Climate*, vol. 16, n° 12, 2003, pp. 2078–2085.

Pomeroy, J.W., D.M. Gray, K.R. Shook, B. Toth, R.L.H. Essery, A. Pietroniro et N. Hedstrom. « An evaluation of snow accumulation and ablation processes for land surface modelling », *Hydrological Processes*, vol. 12, 1998, pp. 2339–2367.

Pratley, R. *Changing livelihoods/changing diets: the implications of changes in diet for food security in Arctic Bay, Nunavut*, these de maitrise inédite, Department of Geography, University of Guelph, Guelph (Ontario), 2006, 163 p.

Prentice, B.E.et S. Turriff (éd.). *Airships to the Arctic Symposium*, Proceedings, University of Manitoba Transportation Institute, Winnipeg (Manitoba), 2002, 180 p.

Proshutinsky, A., V. Pavlov et R.H. Bourke. « Sea level rise in the Arctic Ocean », *Geophysical Research Letters*, vol. 28, 2001, pp. 2237–2240, doi:10.1029/2000GL012760.

Proulx, J.F., D. Leclair et S. Gordon. *Trichinellosis and its prevention in Nunavik, Quebec, Canada*, ministere de la santé et des services sociaux du Québec et Santé Nunavik, 2000.

Prowse T.D. « An overview », dans *Northern Hydrology: Canadian Perspectives*, T.D. Prowse et C.S.L. Ommanney (éd.), Environnement Canada, Centre national de recherche en hydrologie, 1990, pp. 1–36.

Prowse, T.D. « River-ice ecology, part A: hydrologic, geomorphic and water-quality aspects », *Journal of Cold Regions Engineering*, vol. 15, n° 1, 2001, pp. 1–16.

Prowse, T.D. et S. Beltaos. « Climatic control of river-ice hydrology: a review », *Hydrological Processes*, vol. 16, n° 4, 2002, pp. 805–822.

Prowse, T.D. et T. Carter. « Significance of ice-induced hydraulic storage to spring runoff: a case study of the Mackenzie River », *Hydrological Processes*, vol. 16, n° 4, 2002,pp. 779–788.

Prowse, T.D. et J.M. Culp. « Ice breakup: a neglected factor in river ecology », *Revue canadienne de génie civil*, vol. 30, 2003, pp. 128–144.

Prowse, T.D., F.J. Wrona et G. Power. « Barrages, réservoirs et régulation du debit des eaux », dans *Menaces pour la disponibilité de l'eau au Canada*. Environnement Canada, Institut national de recherche sur les eaux, Série des rapports dévaluation scientifique, n° 3, 2004, pp. 11–22.

Prowse, T.D., F.J. Wrona, J. Reist, J.E. Hobbie, L.M.J. Lévesque et W. Vincent. « General features of the Arctic relevant to climate change in freshwater ecosystems », *Ambio*, vol. 35, n° 7, 2006, pp. 330–338.

Receveur, O., M. Boulay et H.V. Kuhnlein. Decreasing traditional food use affects diet quality for adult Dene/Me´tis in 16 communities of the Canadian Northwest Territories, *Journal of Nutrition*, vol. 127, n° 11, 1997, pp. 2179–2186.

Reist, J.D., F.J. Wrona, T.D. Prowse, J.B. Dempson, M. Power, G. Koeck, T.J. Carmichael, C.D. Sawatzky, H. Lehtonen et R.F. Tallman. Effects of climate change and UV radiation on fisheries for Arctic freshwater and anadromous species, *Ambio*, vol. 35, 2006a, pp. 402–410.

Reist, J.D., F.J. Wrona, T.D. Prowse, M. Power, J.B. Dempson, D. Beamish, J.R. King, T.J. Carmichael et C.D. Sawatsky. General effects of climate change on Arctic fishes and fish populations, *Ambio*, vol. 35, n° 7, 2006b, pp. 370–380.

Reist, J.D., F.J. Wrona, T.D. Prowse, M. Power, J.B. Dempson, J.R. King et R.J. Beamish. An overview of effects of climate change on selected Arctic freshwater and anadromous fishes. *Ambio*, vol. 35, 2006c, pp. 381–387.

Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN)–Nord. Northern Regions Chapter — Consultation Meeting 1, Whitehorse, Yukon, Northern Climate Exchange and Yukon College, Whitehorse (Yukon), 2006a, 20 p., <http://www.taiga.net/nce/adaptation/FINAL_Consultation_Report_Whitehorse.pdf>, [consultation : 21 septembre 21, 2007].

Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiqueset l'adaptation (C-CIARN)–Nord. Northern Regions Chapter — Consultation Meeting 2, Yellowknife, Northwest Territories, Northern Climate Exchange and Yukon College, Whitehorse (Yukon), 2006b, 21 p., <http://www.taiga.net/nce/adaptation/FINAL_Consultation_Report_Yellowknife.pdf>, [consultation : 21 septembre 2007].

Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN)–Nord. Northern Regions Chapter — Consultation Meeting 3, Iqaluit, Nunavut, Northern Climate Exchange and Yukon College, Whitehorse (Yukon), 2006c, 20 p., <http://www.taiga.net/nce/adaptation/FINAL_Consultation_Report_Iqaluit.pdf >, [consultation : 21 septembre 2007].

Ressources naturelles Canada. *L'état des forêts au Canada 2004–2005 : la forêt boréale*, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, 2005, 96 p., <http://warehouse.pfc.forestry.ca/11Q/25649.pdf>, [consultation : 31 juillet 2007].

Richardson, E.S., J.D. Reist et C.K. Minns. *Life history characteristics of freshwater fishes occurring in the Northwest Territories and Nunavut, with major emphasis on lake habitat requirements*, Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques, vol. 2569, 2001, 149 p.

Riedlinger, D. Responding to climate change in northern communities: impacts and adaptations, *Arctic* (InfoNorth), vol. 54, 2001, pp. 96–98.

Riedlinger, D. et F. Berkes. Contributions of traditional knowledge to understanding climate change in the *Canadian Arctic. Polar Record*, vol. 37, n° 203, 2001, pp. 315–328.

Rignot, E. et R.H. Thomas. Mass balance of the polar ice sheets. *Science*, vol. 297, 2002, pp. 1502–1506.

Rigor, I.G. et J.M. Wallace. Variations in the age of Arctic sea-ice and summer sea-ice extent, *Geophysical Research Letters*, vol. 31, article L09401, 2004. doi:10.1029/2004GL019492.

Rigor, I.G., J.M. Wallace et R.L. Colony. Response of sea ice to the Arctic Oscillation, *Journal of Climate*, vol. 15, 2002, pp. 2648–2663.

Root, T.R. et S.H. Schneider. Can large-scale climatic models be linked with multi-scale ecological studies?, *Conservation Biology*, vol. 7, 1993, pp. 256–270.

Rothrock, D.A., Y. Yu et G.A. Maykut. Thinning of Arctic sea-ice cover. *Geophysical Research Letters*, vol. 6, n° 23, paper 1999GL900800,1999, pp. 3469–3472.

Rouse, W.R., E.M. Blyth, R.W. Crawford, J.R. Gyakum, J.R. Janowicz, B. Kochtubajda, H.G. Leighton, P. Marsh, L. Martz, A. Pietroniro, H. Ritchie, W.M. Schertzer, E.D. Soulis, R.E. Stewart, G.S. Strong et M.-K. Woo. Energy and water cycles in a high-latitude, north-flowing river system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 83, 2003, pp. 73–87.

Rouse, W.R., M.S.V. Douglas, R.E. Hecky, A.E. Hershey, G.W. Kling, L. Lesack, P. Marsh, M. McDonald, B.J. Nicholson, N.T. Roulet et J.P. Smol. Effects of climate change on the freshwaters of Arctic and subarctic North America. *Hydrological Processes*, vol. 11, 1997, pp. 873–902.

Russell, D.E., A.M. Martell et W.A.C. Nixon. Ecology of the Porcupine caribou herd in Canada, *Rangifer*, n° special 8, 1993, 168 p.

Scholze, M., W. Knorr, N.W. Arnell et I.C. Prentice. *A climate change risk analysis for world ecosystems*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 103, n° 35, 2006, pp. 12 116–13 120.

Serreze, M. et R.G. Barry. *The Arctic Climate System*, Cambridge University Press, New York, New York, 2005, 402 p.

Shirley, J. C-CIARN North — *Nunavut community research needs survey: summary report*, Nunavut Research Institute, Iqaluit (Nunavut), 2006, 24 p.

Skre, O., R. Baxter, R.M.M. Crawford, T.V. Callaghan et A. Fedorkov. How will the tundra-taiga interface respond to climate change?, *Ambio Special Report*, vol. 12, 2002, pp. 37–46.

Smit, B. et O. Pilifosova. From adaptation to adaptive capacity and vulnerability reduction, dans *Climate Change, Adaptive Capacity and Development*, J.B. Smith, R.J.T. Klein et S. Huq (éd.), Imperial College Press, London, Royaume-Uni, 2003, pp. 9–28.

Smith, S.L. et M.M. Burgess. *Sensitivity of permafrost to climate warming in Canada*, Commission géologique du Canada, Bulletin 579, 2004, 24 p.

Smith, S.L., M.M. Burgess et J.A. Heginbottom. *Permafrost in Canada, a challenge to northern development*, dans *A Synthesis of Geological Hazards in Canada*, G.R. Brooks (éd.), Commission géologique du Canada, Bulletin 548, 2001a, pp. 241-264.

Smith, S.L., M.M. Burgess et F.M. Nixon. *Response of active-layer and permafrost temperatures to warming during 1998 in the Mackenzie Delta, Northwest Territories and at Canadian Forces Station Alert and Baker Lake, Nunavut*, Commission géologique du Canada, Recherches en cours 2001-E5, 2001b, 8 p.

Smith, S.L., M.M. Burgess, D. Riseborough et F.M. Nixon. *Recent trends from Canadian permafrost thermal monitoring network sites*, *Permafrost and Periglacial Processes*, vol. 16, 2005, pp. 19-30.

Smith, S.L., M.M. Burgess et A.E. Taylor. *High Arctic permafrost observatory at Alert, Nunavut — analysis of a 23 year data set*, compte rendu de la 8e Conférence internationale sur le pergélisol, tenue en juillet 2003 à Zurich (Suisse), M. Phillips, S.M. Springman et L.U. Arenson (éd.), A.A. Balkema, Lisse, Pays-Bas, 2003, pp. 1073-1078.

Solomon, S.M. Spatial and temporal variability of shoreline change in the Beaufort Mackenzie region, Northwest Territories, Canada, *Geo-Marine Letters*, vol. 25, 2005, pp. 127-137.

Spence, C., K. Dies, A. Pietronito, M.-K. Woo, D. Verseghy and L. Martz. Incorporating new science into water management and forecasting tools for hydropower in the Northwest Territories, Canada, dans *Proceedings of 15th International Northern Research Basins Symposium and Workshop*, symposium tenu 29 août au 2 septembre 2005, Lulea à Kvikkjokk, Suède, 2005, pp. 205-214.

Spittlehouse, D.L. et R.B. Stewart. Adaptation to climate change in forest management, BC *Journal of Ecosystems and Management*, vol. 4, n° 1, 2003, pp. 1-11.

Statistique Canada. Indicateurs de la santé, 2001, index chronologique, Statistique Canada, no au catalogue : 82-221-XWF, 2001, <http://www.statcan.ca/bsolc/francais/bsolc?catno=82-221-X&CHROPG=1>, [consultation : 2 juillet 2007].

Statistique Canada. *La santé dans les collectivitéss canadiennes*, Statistique Canada, no au catalogue 82-003-SIF2002001, Rapports sur la santé - supplément, vol. 13, 2002, 25 p.

Statistique Canada. *Insécurité alimentaire*, Statistique Canada, no au catalogue 82-003 XIF, Rapports sur la santé, vol. 16, n° 3, 2005a, pp. 55-59.

Statistique Canada. *Projections démographiques pour le Canada, les provinces et les territoires, 2005-2031*, Statistique Canada, no au catalogue 91-520-XIF, 2005b, 213 p.

Statistique Canada. Mortalité, liste sommaire des causes, 2003, Statistique Canada, Division de la statistique de la santé, n° au catalogue 84F0209XIE, 137 p., 2006, <http://www.statcan.ca/cgi-bin/downpub/listpub.cgi?catno=84F0209XIF2003000>, [consultation : 31 juillet 2007].

Stewart, E.J., D. Draper et M.E. Johnston. A review of tourism research in the polar regions, *Arctic*, vol. 58, n° 4, 2005, pp. 383-394.

Stirling, I. Reproductive rates of ringed seals and survival of pups in northwestern Hudson Bay, Canada, 1991-2000, *Polar Biology*, vol. 28, 2005, pp. 381-387.

Stirling, I. et T.G. Smith. Implications of warm temperatures and an unusual rain event for the survival of ringed seals on the coast of southeastern Baffin Island, *Arctic*, vol. 57, n° 1, 2004, pp. 59-67.

Stirling, I., N. J. Lunn et J. Iacozza. Long-term trends in the population ecology of polar bears in western Hudson Bay in relation to climatic change, *Arctic*, vol. 52, 1999, pp. 294-306.

Stocks, B.J., M.A. Fosberg, M.B. Wotton, T.J. Lynham et K.C. Ryan. Climate change and forest fire activity in North American boreal forests, dans *Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest*, E.S. Kasischke et B.J. Stocks (éd.), Springer-Verlag, New York, New York, 2000, pp. 368-376.

Tarnocai, C. « The effect of climate change on carbon in Canadian peatlands », Global and Planetary Change, vol. 53, 2006, pp. 222-232.

Tarnocai C., F.M. Nixon et L. Kutny. *Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) sites in the Mackenzie Valley, northwestern Canada*, *Permafrost and Periglacial Processes*, 2004, vol. 15, 2004, pp. 141-153.

Tesar, C. What price the caribou?, *Northern Perspectives* (Canadian Arctic Resources Committee Newsletter), vol. 31, n° 1, 2007, pp. 1-3.

Thorpe, W. *A review of the literature and miscellaneous other parameters relating to water levels in the Peace-Athabasca delta, particularly with respect to the effect on muskrat numbers*, Parcs Canada, Parc national Wood Buffalo, Fort Chipewyan (Alberta), 1986, 9 p.

Tremblay, M., C. Furgal, V. Lafortune, C. Larrivée, J.P. Savard, M. Barrett, T. Annanack, N. Enish, P. Tookalook et B. Etidloie. Climate change, communities and ice: bringing together traditional and scientific knowledge for adaptation in the North, dans *Climate Change: Linking Traditional and Scientific Knowledge*, R. Riewe et J. Oakes (éd.), Aboriginal Issues Press, University of Manitoba, Winnipeg (Manitoba), 2006, 285 p.

Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden et P. Zhai. Observations: surface and atmospheric climate change, dans *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007.

Tynan, C.T. et D.P. DeMaster. Observations and predictions of Arctic climatic change: potential effects on marine mammals, *Arctic*, vol. 50, 1997, pp. 308-322.

Usher, M.B., T.V. Callaghan, G. Gilchrist, B. Heal, G.P. Juday, H. Loeng, M.A.K. Muir et P. Prestrud. Principles of conserving the Arctic's biodiversity, dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 539-596.

Van Oostdam, J., S.G. Donaldson, M. Feeley, D. Arnold, P. Ayotte, G. Bondy, L. Chan, E. Dewailly, C.M. Furgal, H. Kuhnlein, E. Loring, G. Muckle, E. Myles, O. Receveur, B. Tracy, U. Gill et S. Kalhok. Human health implications of environmental contaminants in Arctic Canada: a review, *Science of the Total Environment*, vol. 51-352, 2005, pp. 165-246.

Vincent, W.F. et J.E. Hobbie. Ecology of Arctic lakes and rivers, dans *The Arctic: Environment, People, Policy*, M. Nuttall et T.V. Callaghan (éd.), Harwood Academic Publishers, Amsterdam, Pays-Bas, 2000, pp. 197-232.

Walsh, J.E., O. Anisimov, J.O.M. Hagen, T. Jakobsson, J. Oerlemans, T.D. Prowse, V. Romanovsky, N. Savelieva, M. Serreze, A. Shiklomanov, I. Shiklomanov, S. Solomon, A. Arendt, D. Atkinson, M.N. Demuth, J. Dowdeswell, M. Dyurgerov, A. Glazovsky, R.M. Koerner, M. Meier, N. Rech, O. Sigurdsson, K. Steffen et M. Truffer. Cryosphere and hydrology, dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 183-242.

Warren, J., J. Berner et J. Curtis. Climate change and human health: infrastructure impacts to small remote communities in the North, International *Journal of Circumpolar Health*, vol. 64, n° 5, 2005, pp. 487-497.

Wenzel, G. Nunavut Inuit and polar bear: the cultural politics of the hunt, dans Indigenous Use and Management of Marine Resources, N. Kishigami et J. Savelle (éd.), Musée national d'ethnologie, Osaka, Japon, *Senri Ethnological Series*, n° 67, 2005, pp. 363-388.

White, R.G. et J. Trudell. Habitat preference and forage consumption by reindeer and caribou near Atkasook, Alaska, *Arctic and Alpine Research*, vol. 12, 1980, pp. 511-529.

Willems, S. et K. Baumert. *Institutional capacity and climate action*, Organisation de coopération et de développement économiques, Agence internationale de l'énergie, Paris, France, 2003, 50 p.

Wilson, K.J., J. Falkingham, H. Melling et R. De Abreu. Shipping in the Canadian Arctic: other possible climate change scenarios, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, vol. 3, 2004, pp. 1853-1856.

Woo, M.-K. Permafrost hydrology, dans Northern Hydrology: Canadian Perspectives, T.D. Prowse et C.S.L. Ommanney (éd.), Environnement Canada, Centre national de recherche en hydrologie, NHRI *Science Report* no 1, 1990, pp. 63-76.

Woo, M.-K. *Northern hydrology, dans Canada's Cold Environments*, H.M. French et O. Slaymaker (éd.), McGill-Queen's University Press, Montréal (Québec), 1993, pp. 93-142.

Woo, M.-K., A.G. Lewkowicz et W.R. Rouse. Response of the Canadian permafrost environment to climate change, *Physical Geography*, vol. 13, 1992, pp. 287-317.

Wood, K. et J.E. Overland. *Accounts from 19th-century Canadian Arctic explorers' logs reflect present climate conditions*, EOS (Transactions of the American Geophysical Union), vol. 84, 2003, pp. 410-412.

Wrona, F.J., T.D. Prowse, J.D. Reist, R. Beamish, J.J. Gibson, J. Hobbie, E. Jeppesen, J. King, G. Koeck, A. Korhola, L. Lévesque, R. Macdonald, M. Power, V. Skvortsov, W. Vincent, R. Clark, B. Dempson, D. Lean, H. Lehtonen, S. Perin, R. Pienitz, M. Rautio, J. Smol, R. Tallman et A. Zhulidov. Freshwater ecosystems and fisheries, dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 353-452.

Wrona, F.J., T.D. Prowse, J.D. Reist, J.E. Hobbie, L.M.J. Lévesque et W.F. Vincent. Climate change effects on aquatic biota, ecosystem structure and function, *Ambio*, vol. 35, n° 7, 2006a, pp. 359-369.

Wrona, F.J., T.D. Prowse, J.D. Reist, J.E. Hobbie, L.M.J. Lévesque et W.F. Vincent. Key findings, science gaps and policy recommendations, *Ambio*, vol. 35, n° 7, 2006b, pp. 411-415.

Zhang, X., K.D. Harvey, W.D. Hogg et T.R. Yuzyk. *Trends in Canadian streamflow*, *Water Resources Research*, vol. 37, 2001a, pp. 987-998.

Zhang, X., W.D. Hogg et E. Mekis. Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation events over Canada, *Journal of Climate*, vol. 14, 2001b, pp. 1923-1936.

Zhang, X., L.A. Vincent, W.D. Hogg et A. Niitsoo. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century, *Atmosphere-Ocean*, vol. 38, 2000, pp. 395-429.

Zielinski, P.A. *Flood frequency analysis in dam safety assessment*, compte rendu de la Conférence annuelle de l'Association canadienne des barrages,. Tenue du 30 septembre au 4 octobre 2001, à Fredericton (Nouveau-Brunswick), 2001, pp. 79-86.

Zimov, S.A., S.P. Davydov, G.M. Zimova, A.I. Davydova, E.A.G. Schuur, K. Dutta et F.S. Chapin, III. Permafrost carbon: stock and decomposability of a globally significant carbon pool, *Geophysical Research Letters*, vol. 33, article L20502, 2006, doi:10.1029/2006GL027484.

CHAPITRE 4
Canada atlantique

Auteurs principaux :
Liette Vasseur[1] et Norm R. Catto[2]

Collaborateurs:
David L. Burton (*Nova Scotia Agricultural College*), Omer Chouinard (*Université de Moncton*), Jessie Davies (*Université du Nouveau-Brunswick*), Lisa DeBaie (*Environnement Canada*), Philana Dollin (*Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation*), Geneviève Duclos (*Université Laurentienne*), Peter Duinker (*Dalhousie University*), Don Forbes (*Ressources naturelles Canada*), Luise Hermanutz (*Memorial University*), John Jacobs (*Memorial University*), Lisa Leger (*Université Laurentienne*), Kyle McKenzie (*Environnement Canada*), Kathryn Parlee (*Ressources naturelles Canada*), Jennifer Straatman (*Memorial University*)

Notation bibliographique recommandée:

Vasseur, L. et N. Catto. « Canada atlantique », dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éditeurs), Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, pp. 119-170.

---

[1] Vice-présidente adjointe, recherche, Université Laurentienne, Sudbury (Ontario)
[2] Département de géographie, Memorial University of Newfoundland, St. John's (Terre-Neuve)

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 122
1.1 Profil démographique 122
1.2 Économie 122
1.3 Collectivités autochtones 123
1.4 Écozones 124

2 CLIMAT ET TENDANCES ET PROJECTIONS D'ORDRE CLIMATIQUE 127
2.1 Températures et précipitations 127
2.2 Tempêtes, ondes de tempête et élévation du niveau de la mer 131
2.3 Glace de mer 134

3 SENSIBILITÉS ET ADAPTATION DES ÉCOSYSTÈMES ET DES SECTEURS 135
3.1 Écosystèmes terrestres 135
3.1.1 Sensibilités 135
3.1.2 Adaptation 136
3.2 Zones côtières 137
3.2.1 Sensibilités 137
3.2.2. Adaptation 139
3.3 Écosystèmes marins et pêches 141
3.3.1 Sensibilités 141
3.3.2 Adaptation 143
3.4 Eau 143
3.4.1. Sensibilités 143
3.4.2 Adaptation 146
3.5 Foresterie 147
3.5.1 Sensibilités 147
3.5.2 Adaptation 148
3.6 Agriculture 148
3.6.1 Sensibilités 149
3.6.2 Adaptation 151
3.7 Transport 151
3.7.1 Sensibilités 151
3.7.2 Adaptation 153
3.8 Énergie 153
3.8.1 Sensibilités 153
3.8.2 Adaptation 154
3.9 Tourisme 155
3.9.1 Sensibilités 155
3.9.2 Adaptation 156
3.10 Collectivités 156
3.10.1 Sensibilités 156
3.10.2 Adaptation 158

4 ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ ET PROGRÈS 160
4.1 Évaluation de la vulnérabilité 160
4.2 Progrès 160

RÉFÉRENCES 162

PRINCIPALES CONCLUSIONS

Le Canada atlantique subira non seulement plus de tempêtes, mais des tempêtes plus violentes, une élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête, une érosion des côtes et des inondations. Les collectivités côtières de même que leurs infrastructures et leurs industries, notamment le secteur des pêches et le tourisme, sont vulnérables à ces changements, dont l'impact sur les infrastructures côtières, comme les ponts, les routes et les aménagements énergétiques, s'est déjà fait sentir sur le commerce et le tourisme de la région. En outre, certaines collectivités côtières ont observé des intrusions d'eau salée dans leurs eaux souterraines. Les futures répercussions sur le transport, le transport d'énergie et les communications auront des conséquences d'ordre général, comme celle d'augmenter le risque d'isolement de certaines collectivités.

Les ressources en eau seront sollicitées davantage à mesure que changeront les conditions et les besoins. Les variations annuelles et saisonnières des précipitations combinées à l'augmentation de l'évapotranspiration rendront les étés plus secs, en particulier dans les Maritimes. La diminution des ressources en eau aura des conséquences sur les services d'eau municipaux et créera un défi de taille pour divers secteurs, comme l'agriculture, les pêches, le tourisme et l'énergie.

Pour ce qui est des pêches en mer, les répercussions ne se limiteront pas aux espèces de poisson disponibles, mais toucheront également de nombreux aspects du secteur des pêches, dont le transport, la commercialisation, la santé et la sécurité au travail et la santé communautaire. Les régimes de réglementation actuels limitent les réactions possibles des exploitants des ressources marines sauvages au changement climatique. La prise en considération des changements climatiques dans les évaluations et l'élaboration des politiques permettra de gérer plus efficacement les ressources marines.

Des températures plus élevées et l'allongement des saisons de croissance bénéficieront à l'agriculture et à la foresterie, mais l'augmentation des perturbations et du stress liée au manque d'humidité qui les accompagne est source d'inquiétude. Les changements climatiques ont une incidence sur la façon de gérer la production agricole et l'utilisation de l'eau dans les fermes. Une révision des systèmes de culture et l'amélioration de la gestion de l'eau aideraient le secteur de l'agriculture à s'adapter, bien que des facteurs non climatiques, comme les tendances socio-économiques et démographiques, risquent d'exercer un effet limitatif sur les réactions d'adaptation. Le secteur forestier de certaines régions des Maritimes sera touché par des étés plus secs qui risquent de réduire ou d'éliminer les espèces qui préfèrent un climat plus humide et plus froid. À court terme, l'adaptation devrait faire appel à des moyens qui visent surtout à minimiser les autres facteurs de stress et à préserver la diversité génétique, bien que ces options soient limitées dans le secteur forestier.

On peut abaisser la vulnérabilité de la région de l'Atlantique aux changements climatiques par des efforts d'adaptation visant à réduire l'exposition et par une planification soigneuse. L'identification des infrastructures vulnérables, la prise en considération de l'inondation des régions riveraines et côtières dans les politiques d'utilisation des terres, la révision des mesures d'intervention en cas d'urgence et la prise en compte de l'élévation du niveau de la mer dans la planification et la construction des infrastructures permettraient de réduire les dommages causés aux infrastructures et à l'environnement ainsi que les risques pour la santé et le bien-être des populations humaines. Parmi les autres efforts efficaces d'adaptation figurent la gestion de l'aménagement des régions côtières, l'interdiction de construire dans des régions connues pour être vulnérables et la protection du littoral autour des sites importants. Dans certaines collectivités, une faible capacité d'adaptation, due au vieillissement de la population et à la faiblesse du revenu annuel moyen par rapport à la moyenne nationale, rendra difficile la mise en œuvre des solutions d'adaptation.

1 INTRODUCTION

Le Canada atlantique comprend les provinces du Nouveau-Brunswick, de Terre-Neuve-et-Labrador, de la Nouvelle-Écosse et de l'Île-du-Prince-Édouard (*voir* la figure 1a, b). Parmi ces quatre provinces, c'est Terre-Neuve-et-Labrador, s'étendant de 60° 23' de latitude Nord (Cape Chidley) jusqu'à 46° 37' de latitude Nord (Cape Pine), qui occupe la plus grande superficie, soit trois fois la superficie terrestre combinée des trois provinces des Maritimes. Parmi celles-ci, le Nouveau-Brunswick est la plus grande et l'Île-du-Prince-Édouard, la plus petite. L'entité du Canada atlantique située le plus au sud est Cap de Sable, en Nouvelle-Écosse (43° 28' N). Mis à part Churchill Falls, Labrador City et Wabush, à Terre-Neuve-et-Labrador, aucune collectivité ne se trouve à plus de 200 km d'un littoral marin.

1.1 PROFIL DÉMOGRAPHIQUE

La population totale des quatre provinces de l'Atlantique était de 2,34 millions d'habitants en 2005 (Statistique Canada, 2005a, b), soit à peu près la même qu'en 2004. La population de Terre-Neuve-et-Labrador et celle du Nouveau-Brunswick ont continué à diminuer, alors que celles de l'Île-du-Prince-Édouard et de la Nouvelle-Écosse ont augmenté au cours de la même période (*voir* le tableau 1). Étant donné que la population de la plupart des collectivités est vieillissante (*voir* le tableau 1) et que son revenu annuel moyen est inférieur à la moyenne nationale, toute répercussion du changement climatique ajoute aux difficultés de ces provinces.

Le **Canada atlantique** comprend toute la région, soit le Nouveau-Brunswick, Terre-Neuve-et-Labrador, la Nouvelle-Écosse et l'Île-du-Prince-Édouard.

Le **Canada maritime (dit « les Maritimes »)** comprend le Nouveau-Brunswick, la Nouvelle-Écosse et l'Île-du-Prince-Édouard (mais non Terre-Neuve-et-Labrador).

1.2 ÉCONOMIE

Le Canada atlantique compte de nombreuses collectivités rurales et des centres urbains, comme la municipalité régionale d'Halifax, la municipalité régionale du Cap-Breton, Moncton, Saint John, Fredericton, Charlottetown et St. John's. Il existe un écart considérable entre les régions rurales et urbaines. Les ressources économiques de la population des régions rurales sont généralement plus basses, ce qui explique l'exode observé dans le Canada atlantique rural. La croissance démographique observée à Halifax (+4,6 p. 100) et Moncton (+3,6 p. 100) de 1996 à 2001 contraste avec les pertes subies dans les régions rurales (Statistique Canada, 2001b). Parmi les 20 zones économiques régionales de Terre-Neuve-et-Labrador, on s'attend à ce que cinq seulement connaissent une augmentation de la population entre 2006 et 2019 (Newfoundland and Labrador Department of Finance, 2007).

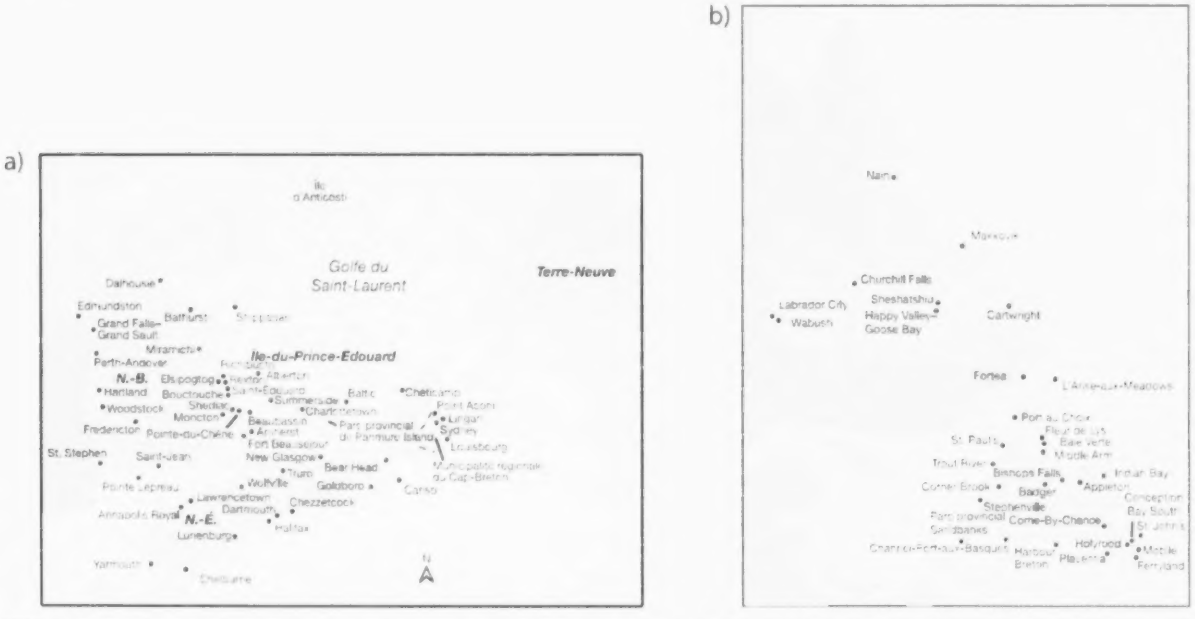


FIGURE 1 : Collectivités des provinces de l'Atlantique : a) Nouveau-Brunswick, Nouvelle-Écosse et Île-du-Prince-Édouard; b) Terre-Neuve-et-Labrador.

1 INTRODUCTION

Le Canada atlantique comprend les provinces du Nouveau-Brunswick, de Terre-Neuve-et-Labrador, de la Nouvelle-Écosse et de l'Île-du-Prince-Édouard (*voir* la figure 1a, b). Parmi ces quatre provinces, c'est Terre-Neuve-et-Labrador, s'étendant de 60° 23' de latitude Nord (Cape Chidley) jusqu'à 46° 37' de latitude Nord (Cape Pine), qui occupe la plus grande superficie, soit trois fois la superficie terrestre combinée des trois provinces des Maritimes. Parmi celles-ci, le Nouveau-Brunswick est la plus grande et l'Île-du-Prince-Édouard, la plus petite. L'entité du Canada atlantique située le plus au sud est Cap de Sable, en Nouvelle-Écosse (43° 28' N). Mis à part Churchill Falls, Labrador City et Wabush, à Terre-Neuve-et-Labrador, aucune collectivité ne se trouve à plus de 200 km d'un littoral marin.

1.1 PROFIL DÉMOGRAPHIQUE

La population totale des quatre provinces de l'Atlantique était de 2,34 millions d'habitants en 2005 (Statistique Canada, 2005a, b), soit à peu près la même qu'en 2004. La population de Terre-Neuve-et-Labrador et celle du Nouveau-Brunswick ont continué à diminuer, alors que celles de l'Île-du-Prince-Édouard et de la Nouvelle-Écosse ont augmenté au cours de la même période (*voir* le tableau 1). Étant donné que la population de la plupart des collectivités est vieillissante (*voir* le tableau 1) et que son revenu annuel moyen est inférieur à la moyenne nationale, toute répercussion du changement climatique ajoute aux difficultés de ces provinces.

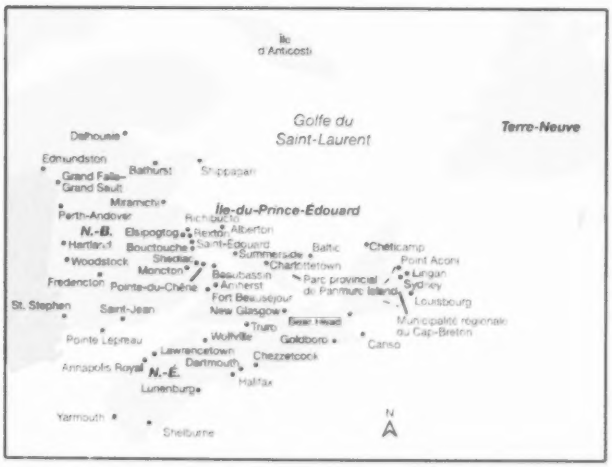
Le Canada atlantique comprend toute la région, soit le Nouveau-Brunswick, Terre-Neuve-et-Labrador, la Nouvelle-Écosse et l'Île-du-Prince-Édouard.

Le Canada maritime (dit « les Maritimes ») comprend le Nouveau-Brunswick, la Nouvelle-Écosse et l'Île-du-Prince-Édouard (mais non Terre-Neuve-et-Labrador).

1.2 ÉCONOMIE

Le Canada atlantique compte de nombreuses collectivités rurales et des centres urbains, comme la municipalité régionale d'Halifax, la municipalité régionale du Cap-Breton, Moncton, Saint John, Fredericton, Charlottetown et St. John's. Il existe un écart considérable entre les régions rurales et urbaines. Les ressources économiques de la population des régions rurales sont généralement plus basses, ce qui explique l'exode observé dans le Canada atlantique rural. La croissance démographique observée à Halifax (+4,6 p. 100) et Moncton (+3,6 p. 100) de 1996 à 2001 contraste avec les pertes subies dans les régions rurales (Statistique Canada, 2001b). Parmi les 20 zones économiques régionales de Terre-Neuve-et-Labrador, on s'attend à ce que cinq seulement connaissent une augmentation de la population entre 2006 et 2019 (Newfoundland and Labrador Department of Finance, 2007).

a)



b)

FIGURE 1 : Collectivités des provinces de l'Atlantique : a) Nouveau-Brunswick, Nouvelle-Écosse et Île-du-Prince-Édouard; b) Terre-Neuve-et-Labrador.

TABLEAU 1 : Paramètres démographiques pour les quatre provinces *tiré de* l'Atlantique (Statistique Canada, 2005a, b)

	Nouveau-Brunswick	Terre-Neuve-et-Labrador	Nouvelle-Écosse	Île-du-Prince-Édouard	Canada
Population en 2005	752 000	516 000	937 900	138 100	32 270 500
Variation de la population (p. 100), 2004-2005	–0,01	–0,25	+0,04	+0,14	+0,9
Migration interprovinciale nette, 2004–2005[1]	–1650	–1875	–473	–222	s. o.
Densité de la population 2005 (personnes/km²)	10,3	1,27[2]	17,0	24,4	3,2
Proportion urbaine (p. 100)[3]	50	58	56	45	80
Personnes âgées de 0 à 14 ans (p. 100)	16,1	15,7	16,2	17,7	17,6
Personnes âgées de 15 à 64 ans (p. 100)	69,9	71,2	69,5	68,2	69,3
Personnes âgées de 65 ans et plus (p. 100)	13,9	13,1	14,2	14,1	13,1
Population projetée d'ici à 2030	742 600 (–1,3 p. 100)	490 000 (–5,3 p. 100)	940 100 (+0,02 p. 100)	141 500 (+2,1 p. 100)	36 182 300 (+11,1 p. 100)

[1] Inclut les migrations entre les provinces canadiennes et autant à l'intérieur qu'à l'extérieur des provinces atlantiques; pour ces quatre provinces, les destinations privilégiées étaient l'Alberta et l'Ontario (Statistique Canada, 2005a, b).

[2] Terre-Neuve : 4,38 personnes/km²; Labrador : 0,95 personne/km²

[3] Recensement de 2001

La disparité socio-économique entre les régions rurales et urbaines peut entraîner une différence de vulnérabilité des collectivités aux phénomènes météorologiques extrêmes et au changement climatique (Morrow, 1999; Alchorn et Blanchard, 2004; Catto et Hickman, 2004). Une forte proportion de la population du Canada atlantique tire depuis toujours sa subsistance des ressources naturelles, en particulier des pêches, de l'agriculture, des forêts et des mines. Toutefois, la mondialisation et les changements démographiques ont entraîné, au Canada atlantique, une réduction importante des emplois dans les collectivités qui dépendent d'une seule industrie primaire (p. ex., le secteur industriel du Cap-Breton, en Nouvelle-Écosse; Shippagan au Nouveau-Brunswick; Stephenville et Harbour Breton, à Terre-Neuve). Burgeo, à Terre-Neuve, est l'une des nombreuses collectivités dont la subsistance dépend de la pêche. En mai 2001, le taux d'emploi chez les personnes de 18 à 64 ans y était de 35 p. 100, comparativement au taux provincial de 55 p. 100 (Government of Newfoundland and Labrador, 2006). Ce sont surtout les régions urbanisées du Canada atlantique, où s'est concentrée l'économie locale, qui jouissent des meilleures possibilités sur le marché mondial.

Ce développement régional différencié a entraîné un écart entre les régions urbaines et les régions rurales. Le marché du travail a évolué au cours des dernières décennies, passant d'un important volet rural dont l'économie est tributaire de l'industrie primaire à une main-d'œuvre active qui mise surtout sur la technologie et les connaissances de pointe pour être compétitive sur le marché international. Les employés les plus compétents peuvent décrocher de nouveaux emplois en particulier dans le secteur des services et dans l'entrepreneriat. Un bon nombre de travailleurs sont désormais autonomes et amènent le milieu des affaires et l'économie des provinces de l'Atlantique sur les marchés nationaux et internationaux. Par contre, les collectivités rurales, et celles à moins forte densité, qui dépendent des ressources naturelles doivent maintenant faire face à la concurrence internationale, en particulier dans le secteur de la transformation du poisson et dans l'industrie du papier, et à la concurrence locale, en particulier dans les secteurs de la pomme de terre et d'autres produits agricoles. Dans bien des régions rurales, la réaction de certains travailleurs a été de quitter le Canada atlantique à la recherche d'un emploi ou d'accepter un poste dans l'Ouest canadien, leur résidence permanente et leur famille immédiate demeurant au Canada atlantique.

L'économie rurale comme l'économie urbaine sont sensibles aux changements subis par le marché international. Le maintien et la création des emplois dépendent beaucoup de la compétitivité et de la productivité des entreprises ainsi que des politiques étrangères et intergouvernementales. L'accès au transport maritime a aidé cette région à contribuer à la balance commerciale du Canada. Les changements climatiques à venir risquent d'augmenter la vulnérabilité des collectivités qui dépendent énormément des systèmes marins et côtiers, en particulier si des tempêtes viennent perturber le transport et les infrastructures.

1.3 COLLECTIVITÉS AUTOCHTONES

Les communautés autochtones, dont les Innus, les Inuits et les Micmacs, vivent dans des conditions socio-économiques bien particulières. Entre autres, elles comptent une proportion élevée de jeunes; en 2001, par exemple, 43,1 p. 100 de la population de Nain était composée de jeunes de 19 ans ou moins (Government of Newfoundland and Labrador, 2006). Les gains et le revenu par habitant sont inférieurs à ceux de l'ensemble de la population de la région; par exemple, à Lennox Island, dans l'Île-du-Prince-Édouard, le revenu total médian des personnes de 15 ans et plus était de 12 272 $ en 2001, comparativement à une moyenne provinciale de 18 880 $ (Statistique Canada, 2001b). De même, le niveau d'éducation est généralement inférieur dans ces communautés; par exemple, à Whycocomagh, en Nouvelle-Écosse, 29,4 p. 100 des

ENCADRÉ 1

Réaction au changement climatique à Elsipogtog

Les Micmacs de la côte est du Nouveau-Brunswick s'inquiètent des impacts du changement climatique sur la survie de leurs traditions et sur l'accès aux ressources naturelles. Ce sont surtout les aliments et les médicaments traditionnels qu'ils trouvent dans les marais salants qu'ils craignent de perdre. La protection des ressources et du savoir traditionnels est un moyen important pour les Micmacs de protéger leur culture.

En collaboration avec la collectivités d'Elsipogtog, on a dressé un inventaire des plantes traditionnelles en vue de connaître les répercussions possibles du changement climatique sur ces ressources. Des données recueillies sur le terrain ont été combinées au modèle altimétrique numérique (MAN) créé à partir de données obtenues par laser aéroporté (LIDAR), et plusieurs scénarios d'inondation comportant des projections de l'élévation du niveau de la mer et de la subsidence des terres (Carrera et Vaníček, 1988) ont été élaborés pour évaluer les répercussions d'une élévation du niveau de la mer sur les peuplements actuels de foin d'odeur et autres plantes médicinales croissant dans les marais salants. Le foin d'odeur est une plante très importante pour les communautés autochtones, qui la brûlent lors de cérémonies et l'utilisent pour tresser des paniers, pour la décoration et en infusion. Cet essai de modélisation est un prolongement et une nouvelle application de la méthode de Thompson *et al.*, (2001) qui se base sur la reproduction du modèle de l'onde de tempête du 21 janvier 2000. Les résultats révèlent que, même dans le scénario le plus optimiste, l'inondation atteindrait la forêt, noyant tous les marais salants.

Foin d'odeur (*Hierochloa odorata*)

La collectivités se voue maintenant surtout à la planification. Les peuples autochtones n'ont jamais construit d'habitations permanentes le long de la côte, car cet habitat est très fragile et sensible à l'influence humaine. Ce n'est que lorsque les réserves ont été établies que de telles infrastructures côtières sont devenues plus courantes. Aujourd'hui, éloigner les infrastructures de la côte exigerait que la communauté acquière de nouvelles terres plus loin à l'intérieur des terres puisque la réserve actuelle n'occupe qu'une bande très étroite le long de la côte. Toute acquisition de terres impliquerait de changer les plans et l'aménagement du territoire des collectivités adjacentes, comme Richibucto.

Dans le cadre de discussions au sein de la collectivités, on a proposé d'autres moyens d'adaptation au changement climatique et de maintien de l'usage traditionnel des ressources :

- maintenir le statu quo, c'est-à-dire ne rien changer et laisser la nature suivre son cours;
- déplacer plus loin à l'intérieur des terres les infrastructures qui se trouvent actuellement près des marais ou en déplacer quelques-unes;
- protéger des zones pour l'avenir, restaurer les marais détruits et protéger les marais restants;
- planter du foin d'odeur à des endroits qui lui conviennent;
- faire participer la communauté à toutes ces entreprises, ce qui comprend des activités d'éducation.

Grâce à ces discussions et à ces moyens d'action, Elsipogtog a entrepris de s'adapter au changement climatique prévu.

habitants de 20 à 34 ans n'ont pas obtenu leur diplôme d'études secondaires, comparativement à 16,1 p. 100 dans la population générale de la Nouvelle-Écosse (Statistique Canada, 2001b).

Les collectivités autochtones ont observé dans leur environnement une évolution due au changement climatique (Gosselin, 2004). Pour nombre d'entre elles, la situation côtière les rend plus vulnérables aux conséquences du changement climatique. Beaucoup de collectivités autochtones ont de tout temps pratiqué la migration saisonnière afin de s'adapter aux changements de l'environnement. Les collectivités sédentaires modernes, toutefois, sont vulnérables à la perte de terres côtières (*voir* l'encadré 1). Une faible scolarisation, des revenus bas et des infrastructures inférieures aux normes nationales peuvent aggraver les difficultés auxquelles font face les collectivités autochtones.

Un autre aspect de la vie des Autochtones qui est sensible aux conditions climatiques tient à l'importance de la nourriture du pays. Le phoque, le saumon, le caribou, le lièvre, la perdrix, les canards, les baies et autres aliments qui leur sont offerts par la terre et la mer font tous partie du régime alimentaire des collectivités autochtones (Degnen, 1996; Hanrahan, 2000). Les modifications du climat et des habitats qui risquent d'influer sur la qualité et la quantité de ces ressources posent donc d'autres problèmes aux Autochtones. La nourriture traditionnelle représente un apport d'éléments nutritifs importants, en particulier au Labrador où les aliments du commerce sont très coûteux. La santé spirituelle et culturelle de nombreuses communautés dépend donc des activités d'approvisionnement en nourriture. Par exemple, le Mukushan, un repas communautaire qui célèbre le succès de la chasse afin d'honorer l'esprit du caribou, occupe une place importante dans la culture des Innus. Les déplacements en groupe dans la nature, durant lesquels les familles passent deux ou trois mois à pêcher, à chasser et à s'approvisionner en nourriture, sont des activités importantes sur le plan culturel pour les Sheshatshiu et les Natuashish (Degnen, 1996; Matthews et Sutton, 2003). Elles permettent en effet de maintenir le savoir traditionnel et de le transmettre aux jeunes générations. Des changements qui réduiraient l'accès aux aliments traditionnels pourraient mettre en péril ce processus de transmission de la culture. Bien que le changement climatique ne soit que l'un des nombreux problèmes auxquels font face les peuples autochtones, l'importance accordée à la protection des sources de nourriture et des plantes médicinales traditionnelles, ainsi qu'à la valeur sacrée de l'eau, pourrait rapidement devenir une priorité.

1.4 ÉCOZONES

Le nombre d'écorégions (Sabine et Morrison, 2002) et d'écozones (*voir* la figure 2; Environnement Canada, 2005b) terrestres témoigne de la diversité écologique du Canada atlantique. Les régions climatiques varient d'un climat continental humide frais à la toundra arctique, en passant par le climat subarctique, sans oublier l'influence du courant chaud du Gulf Stream, au sud, qui cède la place au courant du Labrador, froid, au nord. Les saisons reflètent les influences du choc de ces masses d'air tropical et polaire, continental et maritime. Le long de la côte de l'océan Atlantique, la variabilité pluridécennale des régimes météorologiques et de leurs effets, surtout en hiver, est associée à l'oscillation nord-atlantique (North Atlantic Oscillation ou NAO) (Marshall *et al.*, 2001).

FIGURE 2 : Écozones terrestres du Canada atlantique (*tiré de* Agriculture et Agro-alimentaire Canada).

L'écozone **maritime de l'Atlantique** comprend la Nouvelle-Écosse, l'Île-du-Prince-Édouard, le Nouveau-Brunswick et la Gaspésie, au Québec (*voir* la figure 3a, b). La côte du golfe du Saint-Laurent au Nouveau-Brunswick est une plaine qui descend doucement vers l'est, avec de longues échancrures peu profondes et des marais salants. Dans l'ouest du Nouveau-Brunswick, le long de la baie de Fundy et dans la majeure partie de la Nouvelle-Écosse, les hautes terres se caractérisent par un relief ondulé à accidenté, presque partout à plus de 200 m au-dessus du niveau de la mer. Le littoral est profondément échancré et dominé par des falaises et des plages de gravier, et le plancher marin baisse rapidement au large. Le rivage de la baie de Fundy, en Nouvelle-Écosse, est flanqué de falaises abruptes. Dans l'intérieur des terres, on trouve un escarpement prononcé de 120 m à 150 m de hauteur. La topographie de la plaine basse de la vallée de l'Annapolis et le terrain ondulé des terres hautes de la Nouvelle-Écosse sont orientés vers le nord-est. L'île du Cap-Breton est composée de collines irrégulières, d'escarpements en pente raide et de plateaux aplanis ou ondulés, traversés par de petits ruisseaux profonds eux-mêmes jalonnés de nombreuses chutes et cataractes. L'Île-du-Prince-Édouard est une plaine vallonnée au relief bas, avec des systèmes de dunes et de plages bien définis.

L'écozone de l'Atlantique maritime est l'écozone la plus chaude du Canada atlantique, avec des climats de région boréale sud à moyenne. La température hivernale moyenne se situe entre -8 °C et -2 °C (Environnement Canada, 2005a). La température estivale moyenne varie d'une région à l'autre, de 13 °C à 15,5 °C. Les précipitations annuelles moyennes sont comprises entre 800 et 1 500 mm. Le climat du Nouveau-Brunswick varie en fonction de la distance à la côte du golfe du Saint-Laurent, du fait que la région subit à la fois l'influence de l'air atlantique humide de la baie de Fundy et des vents humides en provenance de la Nouvelle-Angleterre et des terres basses de la région des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent. À l'intérieur des terres, le climat est plus continental, alors que les régions qui longent la baie de Fundy ont des étés frais et des hivers doux. Le brouillard est fréquent dans les régions côtières exposées. La Nouvelle-Écosse subit l'influence constante de l'océan, mais les régions côtières de la province ont tout de même des printemps et des étés plus frais, et des hivers plus doux, que l'intérieur des terres. La couverture de glace hivernale dans le golfe du Saint-Laurent abaisse les températures et retarde l'arrivée du printemps. Parmi les trois provinces, c'est l'Île-du-Prince-Édouard qui subit le plus l'influence de la mer : les hivers y sont doux, les printemps frais et tardifs, les étés modérés et venteux.

Les forêts mixtes constituent la principale végétation de cette écozone. L'épinette rouge, le sapin baumier, le bouleau jaune et l'érable à sucre dominent, bien qu'on y trouve également le pin rouge, le pin blanc et la pruche du Canada en quantités importantes. Avant l'arrivée des Européens, des assemblages de forêt acadienne recouvraient presque toute l'Île-du-Prince-Édouard, le sud-est du Nouveau-Brunswick et les régions abritées de la partie continentale de la Nouvelle-Écosse. On y retrouve également des espèces boréales comme le bouleau blanc, l'épinette noire et l'épinette blanche. Dans cette écozone, les arbustes sont des saules, de petits merisiers, des aulnes rugueux et des bleuetiers. En termes d'économie primaire, l'exploitation des forêts est une des grandes composantes économiques de cette écozone, avec le secteur des pêches (surtout le homard, les poissons et l'aquaculture) et le secteur minier.

L'île de Terre-Neuve, le sud-est du Labrador et la rive du lac Melville font partie de l'écozone du **Bouclier boréal** (*voir* la figure 3c, d). La topographie de l'île de Terre-Neuve est diversifiée. La presqu'île Avalon présente des terres hautes ondulées, parsemées de petits plateaux, d'échancrures, de petites rivières en pente raide et de falaises qui atteignent jusqu'à 65 m de hauteur; dans le centre de l'île, on trouve des crêtes montagneuses, parsemées de terrains vallonnés et de petits plateaux. Le relief dépasse rarement 200 m. Le littoral présente un aspect déchiqueté et profondément échancré, bordé de promontoires escarpés et de nombreuses îles. Les falaises peuvent dépasser 100 m. Les plages se trouvent dans des criques abritées et sont surtout constituées de galets et de cailloux. La topographie de la côte ouest est accidentée, s'élevant vers l'est en plateaux ondulés. Le relief y atteint plus de 800 m. Une étroite plaine côtière borde çà et là le littoral ouest de l'île.

Le sud-est du Labrador est accidenté et vallonné, et on y retrouve des parcelles isolées de pergélisol. Le relief s'élève rapidement à partir de la côte, jusqu'à 365 m au-dessus du niveau de la mer. La région qui entoure le lac Melville est une basse terre côtière. Au sud et à l'ouest de la plaine du lac Melville, le terrain est entrecoupé de vallées fluviales et certaines collines atteignent 500 m.

Dans ce climat de forêt boréale moyenne, les précipitations varient entre 900 et 2 000 mm par an (Environnement Canada, 1993, 2005a). La température moyenne est de 8,5 °C à 12,5 °C en été et de

a) Écozone de l'Atlantique maritime – forêt mixte décidus-conifères, Parc national des Hautes-Terres-du-Cap-Breton, en Nouvelle-Écosse.

b) Écozone de l'Atlantique maritime – environnement de marais salants, Parc national Kouchibouguac, au Nouveau-Brunswick.

c) Écozone du Bouclier boréal – forêt de type épinette-sapin-tremble, près de Springdale, au centre de Terre-Neuve.

d) Écozone du Bouclier boréal – toundra côtière exposée et tuckamore, Cape Spear, à Terre-Neuve.

e) Écozone de la taïga du Bouclier – assemblage d'aapa (étangs marécageux) et d'épinette noire, à l'ouest de la rivière Pinus, au Labrador.

f) Écozone de la taïga du Bouclier – terrain forestier avec eskers, lac Molson, dans l'ouest du Labrador.

g) Écozone de la Cordillère arctique – paysage et végétation de la toundra, Hebron, au Labrador.

h) Écozone de la Cordillère arctique – cirques glaciaires, monts Torngat, au Labrador.

FIGURE 3 : Exemples des écozones terrestres du Canada atlantique.

-20 °C à -1 °C en hiver. À cause du relief, les tempêtes longent la côte ouest ou traversent les presqu'îles Avalon et Burin. Les printemps et les étés sont frais. L'influence modératrice de l'océan se manifeste surtout le long des côtes ouest et sud, touchées par le golfe du Saint-Laurent et le Gulf Stream, mais moins sur le littoral nord-est, soumis à l'influence du courant du Labrador et de l'oscillation nord-atlantique. À l'intérieur des terres, les étés sont plus chauds et les hivers plus froids que dans les régions côtières adjacentes.

Cette écozone est surtout couverte de forêt, les espèces dominantes étant l'épinette noire, l'épinette blanche, le sapin baumier, le mélèze (mélèze d'Amérique), le bouleau blanc et le peuplier. Des lichens et des arbrisseaux poussent dans les zones de socle exposé. La foresterie est importante dans certaines parties de cette écozone, mais c'est le secteur des pêches et l'exploration minière qui constituent les principales ressources à la base de l'économie primaire.

L'écozone de la **taïga du Bouclier** occupe la plus grande partie du Labrador (*voir* la figure 3e, f). Elle se caractérise par une topographie ondulée, l'écart d'élévation entre les vallées les plus profondes et les sommets adjacents dépassant rarement 200 m dans l'ouest du Labrador. Les monts Mealy, terrain fort accidenté, offrent un paysage contrasté, avec des sommets atteignant 1 190 m; on y trouve aussi par endroits des zones de pergélisol.

L'écozone de la taïga du Bouclier se caractérise par un climat boréal. Les vents dominants de l'ouest y apportent l'air sec du nord du Québec, ce qui entraîne des hivers froids et secs, avec du temps calme et une humidité minimale dans l'intérieur des terres. Les étés sont courts et frais, avec des journées longues. Dans les régions côtières, qui subissent l'influence du courant du Labrador, les étés sont plus froids. Les précipitations annuelles varient entre 800 mm dans l'ouest et plus de 1 000 mm le long de la côte (Environnement Canada, 2005a). La température moyenne varie en hiver entre -25°C et -10 °C et, en été, entre 6,5 °C et 10 °C.

Pour ce qui est de la végétation, on y trouve des forêts d'épinette noire, d'épinette blanche et de sapin baumier, puis des arbustes et des prés. Dans les plaines marécageuses et les marais poussent des aulnes, des saules et des mélèzes (mélèze d'Amérique) en plus des conifères et, sur les rives et les terres hautes, des épinettes blanches, des peupliers-faux-trembles, des peupliers baumiers et des bouleaux blancs. Les ressources minérales et la production d'énergie hydroélectrique constituent les principales activités économiques.

Dans l'extrême sud de l'écozone de la **Cordillère arctique**, on trouve les monts Torngat du nord du Labrador (*voir* la figure 3g, h). Le climat de toundra des monts Torngat est froid et humide; les étés y sont courts, froids et humides, et les hivers, longs et froids. Sur la côte, la glace peut persister jusqu'en juillet. Les précipitations annuelles moyennes varient entre 400 et 700 mm, avec des valeurs plus élevées dans le centre, plus haut. La température moyenne est de -16,5 °C en hiver et de 4 °C en été. Sur les flancs de vallées orientées vers le sud, on trouve des poches d'arbres arctiques à feuillage persistant et d'arbustes à feuilles caduques; ailleurs, le sol est couvert ici et là de mousse, de lichen et de carex.

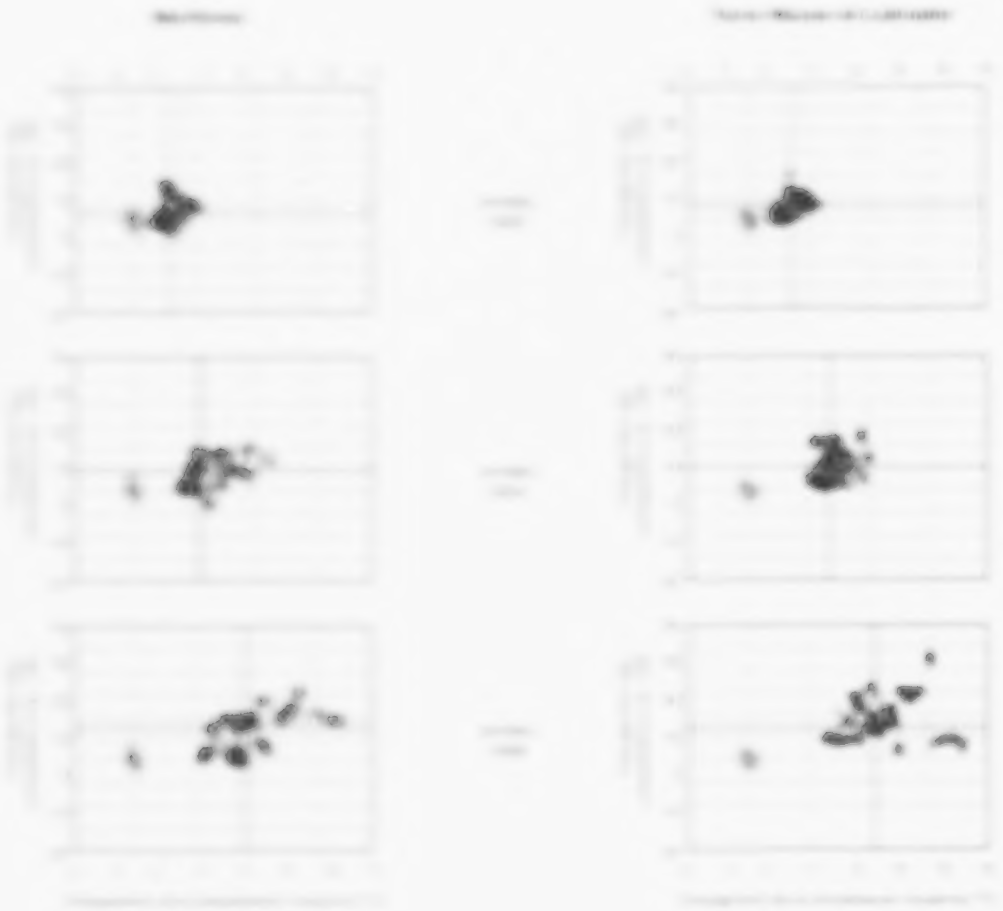
2 CLIMAT ET TENDANCES ET PROJECTIONS D'ORDRE CLIMATIQUE

2.1 TEMPÉRATURES ET PRÉCIPITATIONS

La tendance régionale des températures saisonnières au Canada atlantique, de 1948 à 2005, révèle un réchauffement général de 0,3 °C (Lewis, 1997; Lines *et al.*, 2003; Environnement Canada, 2005c), la hausse de température la plus importante survenant surtout l'été (+0,8 °C en moyenne). Le réchauffement se manifeste surtout au printemps (+0,4 °C) et à l'automne (+0,1 °C), et les hivers sont maintenant plus froids (-1,0 °C). Les températures minimales quotidiennes ont légèrement monté (+0,3 °C), mais les températures maximales quotidiennes ont baissé davantage (-0,8 °C). Au cours des dix dernières années, les températures du nord de la région de l'Atlantique Nord ont eu tendance à se rapprocher des températures à la hausse de l'intérieur de l'Amérique du Nord.

Au Canada atlantique, les précipitations ont augmenté d'environ 10 p. 100 de 1948 à 1995 (Lewis, 1997), et cette tendance a persisté jusqu'à la fin des années 1990 (Jacobs et Banfield, 2000; Lines *et al.*, 2003). Ces valeurs moyennes varient toutefois beaucoup d'un endroit à l'autre de la région.

Lines *et al.*, (2003) ainsi que Lines et Pancura (2005) ont analysé les projections des changements de la température et des précipitations au moyen de techniques de réduction d'échelle pour les régions et les écozones de l'Atlantique. En outre, de récentes analyses sont venues appuyer ces évaluations (*voir* les figures 4 et 5). Ces analyses indiquent que les changements prévus varient d'une partie de la région à l'autre et que la diversité à venir reflète les différences climatiques actuelles entre les écozones, les écorégions et chaque endroit du Canada atlantique.



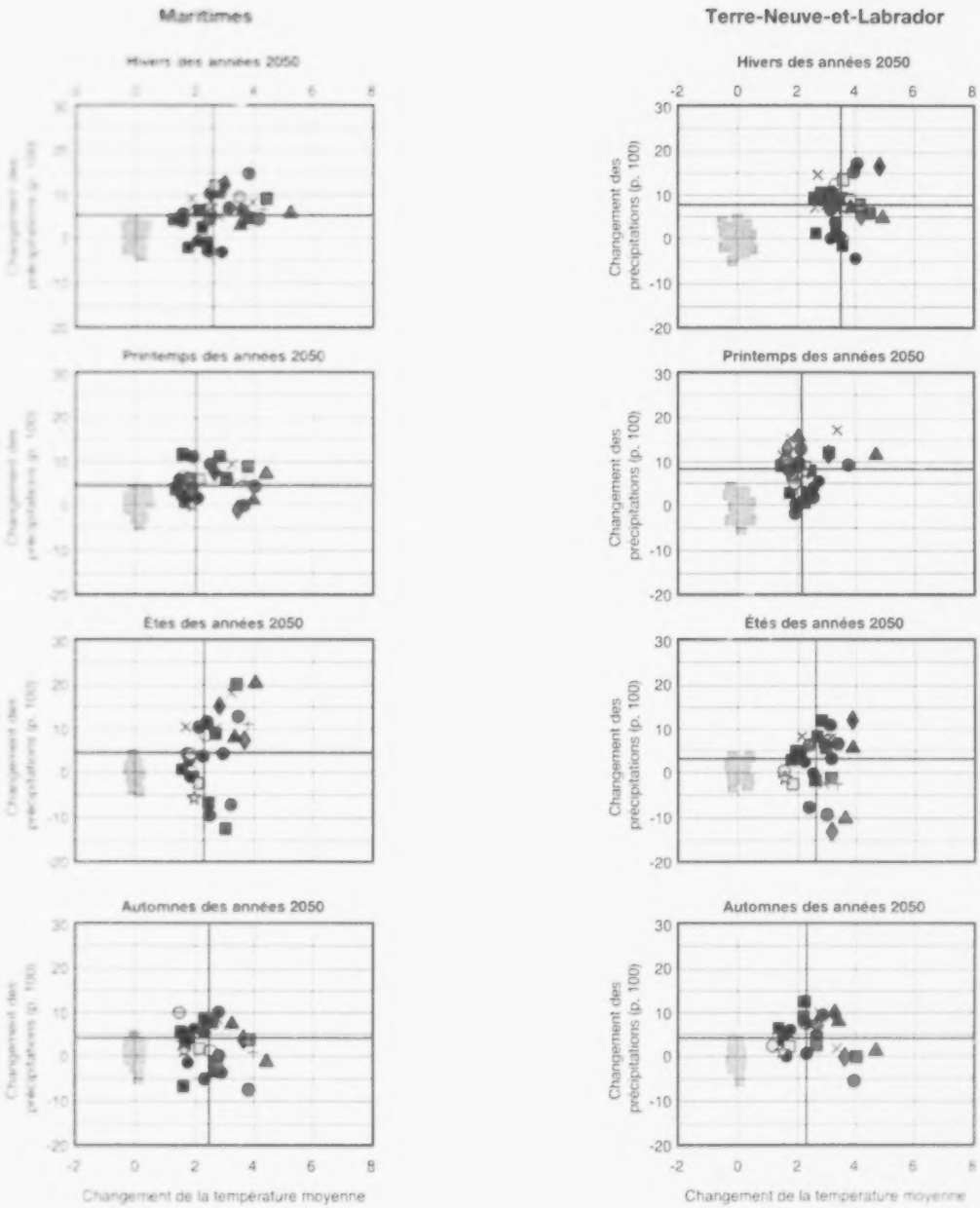


FIGURE 4b : Diagrammes de dispersion des changements saisonniers de la température et des précipitations moyennes dans les Maritimes (gauche) et à Terre-Neuve-et-Labrador (droite) selon les prévisions d'une série de modèles climatiques pour les années 2050. Les lignes bleues représentent la valeur médiane des changements de la température et des précipitations moyennes déterminée à partir d'un ensemble de scénarios indiqués sur le graphique.

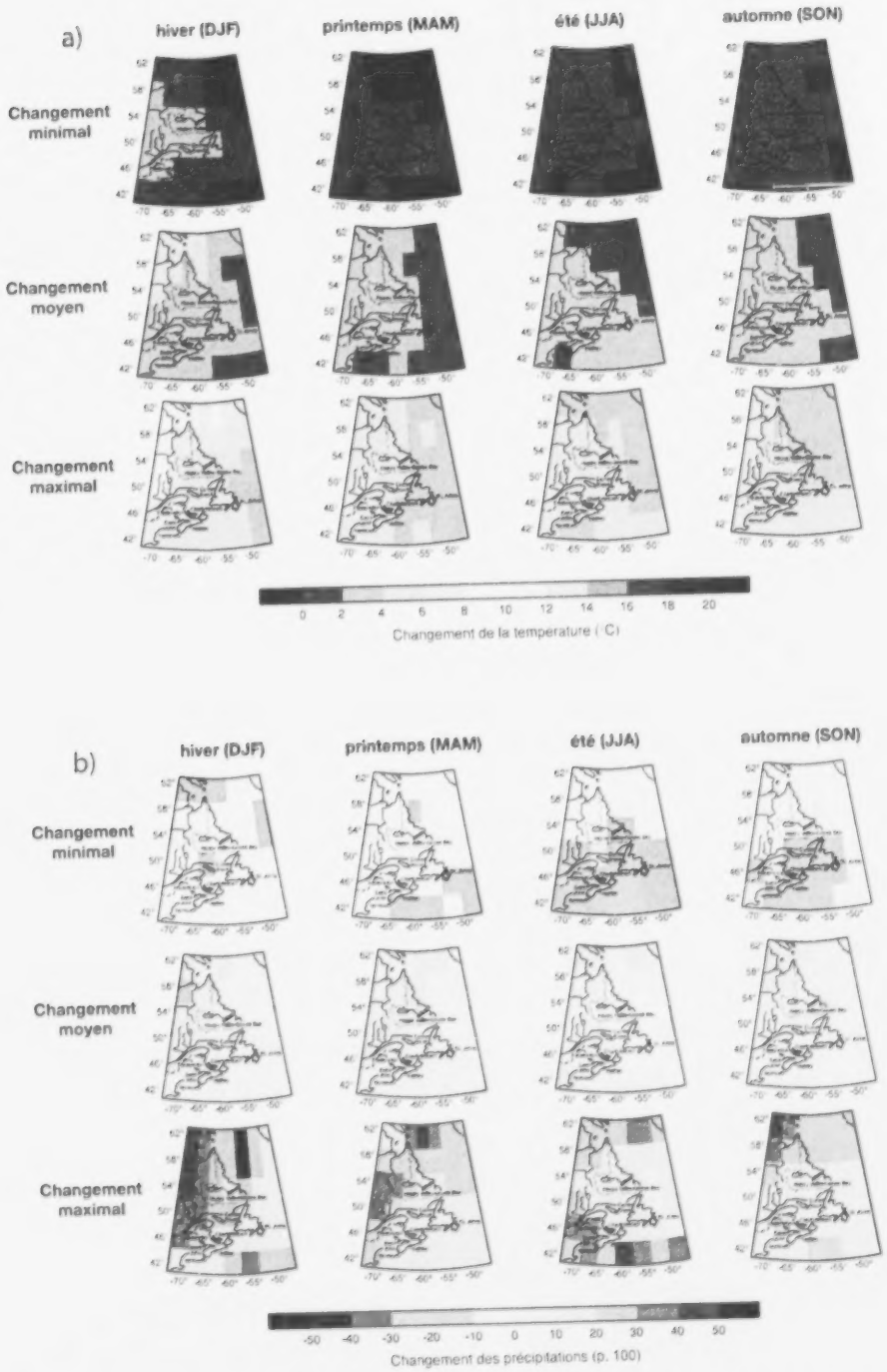


FIGURE 5 : Cartes de scénarios climatiques des a) changements annuels minimaux, moyens et maximaux de la température (°C) pour les années 2020, les années 2050 et les années 2080; b) changements annuels minimaux, moyens et maximaux des précipitations (p. 100) pour les années 2020, les années 2050 et les années 2080, selon les projections établies à partir d'un ensemble de modèles climatiques. Les lettres majuscules entre parenthèses à la suite des saisons indiquent les mois en question.

Le Canada maritime

Bien qu'on note d'importantes variations à petite et moyenne échelles entre les diverses projections du climat, une certaine tendance générale se dessine. On prévoit que les provinces maritimes verront une hausse de leurs températures et de leurs précipitations moyennes annuelles (*voir* les figures 4 et 5). D'ici à 2050, la température montera de 2°C à 4 °C l'été, selon les données d'entrée du modèle et l'emplacement géographique. Les températures des régions côtières devraient changer moins que celles de l'intérieur de la Nouvelle-Écosse et de l'ouest du Nouveau-Brunswick. On peut s'attendre à un réchauffement de 1,5 °C à 6 °C l'hiver et à ce que les précipitations des Maritimes augmentent, poursuivant la tendance établie depuis 1948. Toutefois, les variations saisonnières et annuelles deviendront plus marquées. Les régions de l'intérieur pourraient se caractériser par des étés plus secs. Dans ces régions, la pluviosité accrue ne contrebalancera peut-être pas l'augmentation de l'évapotranspiration due à la hausse des températures en été.

Terre-Neuve-et-Labrador

La province de Terre-Neuve-et-Labrador diffère des Maritimes par son climat actuel aussi bien que par les changements qu'on y prévoit. L'influence du courant du Labrador et les variations associées à la NAO y sont de première importance (*voir* l'encadré 2 et le chapitre 2). Les régions côtières exposées à l'influence de la NAO diffèrent beaucoup des régions de l'intérieur, tant pour ce qui est des conditions actuelles que des réactions prévues (Institut canadien d'études climatologiques, 1999-2005). Les régions de l'intérieur du Labrador subissent surtout des influences continentales, en raison des vents dominants du sud-ouest. Les changements climatiques prévus pour cette région, c'est-à-dire des étés plus chauds et plus secs et des hivers plus doux (*voir* la figure 5; Environnement Canada, 2005a-c; Flannigan *et al.*, 2001; Institut canadien d'études climatologiques, 1999-2005), s'inscrivent dans les tendances observées récemment.

ENCADRÉ 2

Influence de l'oscillation nord-atlantique sur Terre-Neuve-et-Labrador

L'oscillation nord-atlantique (North Atlantic Oscillation ou NAO) est une variation cyclique des régimes de pression qui influe sur l'environnement et les collectivités du nord de l'Atlantique Nord, y compris Terre-Neuve-et-Labrador (Hurrell, 1995; Topliss, 1997; Banfield et Jacobs, 1998; Delworth et Mann, 2000; Jacobs et Banfield, 2000; Kerr, 2000; Enfield *et al.*, 2001; Marshall *et al.*, 2001; Drinkwater *et al.*, 2003, Hurrell *et al.*, 2003; Catto et Catto, 2004, 2005; Catto, 2006a, b, sous presse). Une phase de la NAO très positive abaisse les températures au Labrador, en particulier sur le littoral, et dans l'ouest du Kalaallit Nunaat (le Groenland); avec une NAO positive, les températures sont moyennes ou légèrement inférieures à la moyenne le long de la côte est de Terre-Neuve (Topliss, 1997; Catto *et al.*, 2003). Une phase de la NAO positive produit également des vents forts de nord-ouest à nord-est qui varient en fonction de la latitude du nord du Labrador, au sud, jusqu'à la presqu'île Avalon, des vents violents soufflant sur l'océan, des basses températures à la surface de la mer (en particulier l'hiver) et des zones de banquise ou de glace de débâcle plus grandes et persistant plus longtemps. La phase négative de la NAO produit les effets opposés, soit des hivers doux et secs, avec, en particulier, une réduction de la couverture de neige au Labrador et sur les côtes de Terre-Neuve. Ces dernières années, la tendance s'oriente vers une phase très positive persistante de la NAO, que l'on peut associer au forçage des gaz à effet de serre (Kuzmina *et al.*, 2005). Les modèles révèlent également que cette influence pourrait persister à mesure que les concentrations de dioxyde de carbone augmenteront, bien qu'il faille poursuivre les recherches dans ce domaine pour confirmer l'hypothèse (Stephenson *et al.*, 2006).

2.2 TEMPÊTES, ONDES DE TEMPÊTE ET ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER

La région de l'Atlantique est exposée aux effets d'un grand nombre de phénomènes saisonniers et interannuels, dont des tempêtes d'hiver, des cyclones tropicaux et d'autres phénomènes météorologiques violents, des étés chauds et secs, des gels tardifs ou précoces, de la pluie et du dégel en hiver, des embâcles et des inondations. On a des indications que la tendance récente est une augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes extrêmes (p. ex., Zhang *et al.*, 2001; Beltaos, 2002; Bonsal et Prowse, 2003; Bourque *et al.*, 2005; Bruce, 2005; Emanuel, 2005; Webster *et al.*, 2005).

Une onde de tempête se définit comme une élévation du niveau d'eau due à l'effet des conditions météorologiques sur le niveau de la mer. La hauteur de l'onde de tempête est la différence entre le niveau d'eau observé durant la tempête et le niveau que la marée aurait normalement atteint en l'absence de tempête (Forbes *et al.*, 2004). Au cours des 15 dernières années, des ondes de tempête ont détruit des propriétés dans les quatre provinces atlantiques (Taylor *et al.*, 1996a, b, 1997; Forbes *et al.*, 2000; McLean *et al.*, 2001; McCulloch *et al.*, 2002; Catto *et al.*, 2003; Catto et Hickman, 2004; Smith *et al.*, 2004a, b; Wright, 2004; Catto, sous presse a). La figure 6 indique la répartition géographique des élévations positives atteintes par les ondes de tempête à période de récurrence de 40 ans dans l'ensemble de la région atlantique (Bernier *et al.*, 2006). Elle démontre que les ondes de tempête sont plus hautes dans les eaux côtières, atteignant leurs niveaux les plus élevés dans l'estuaire et le sud du Golfe Saint-Laurent.

Certaines parties de l'est du Nouveau-Brunswick sont particulièrement exposées aux ondes de tempête (Shaw *et al.*, 2001; Thompson *et al.*, 2005). Près de Beaubassin, dans le sud-est du Nouveau-Brunswick, les demandes de règlement adressées au gouvernement provincial pour des dommages causés aux résidences aux domiciles, aux chalets, aux quais et autres structures, causés par l'onde de tempête de janvier 2000 ont dépassé 1,6 million de dollars (Robichaud, 2000). Des phénomènes historiques comme le grand ouragan qui a touché l'est de Terre-Neuve en 1775 (Stevens et

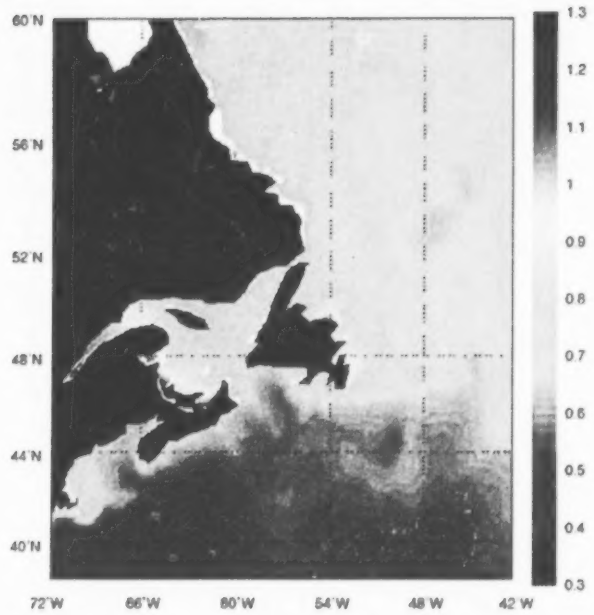


FIGURE 6 : Variabilité spatiale d'une onde de tempête à période de récurrence de 40 ans touchant la côte atlantique du Canada, basée sur une rétrospective des derniers 40 ans (Bernier *et al.*, 2006).

FIGURE 7 : Dégâts causés par l'ouragan Juan à Bishop's Landing, à Halifax. Photo gracieuseté de Kyle McKenzie.

Staveley, 1991; Stevens, 1995a) et le coup de vent dit « Saxby Gale » de 1869, dans la baie de Fundy (Hutchinson, 1911; Abraham *et al.*, 1999; Parkes *et al.*, 1999), témoignent amplement des répercussions des tempêtes et ondes de tempête extrêmes au Canada atlantique. Plus récemment, l'ouragan Juan (2003), soit l'ouragan qui a causé le plus de pertes économiques dans l'histoire du Canada atlantique, a été responsable de la mort de huit personnes et de dommages s'élevant à au moins 200 millions de dollars en Nouvelle-Écosse et dans l'Île-du-Prince-Édouard (*voir* la figure 7; Environnement Canada, 2004b).

L'impact d'une tempête à un endroit donné dépend de l'angle d'attaque de la vague, du nombre de tempêtes qui l'ont précédée durant la saison et d'autres facteurs locaux (Hayes, 1967). Des plages adjacentes peuvent réagir très différemment à une tempête donnée, comme on a pu le constater lorsque les plages du sud-ouest de Terre-Neuve ont été frappées par les ouragans Gustav (2002) et Frances (2004), celles de l'est de Terre-Neuve par Bob (1991), Luis (1995) et Irene (1999), et celles de l'Île-du-Prince-Édouard par Juan (2003). Des plages qui ne sont séparées que par un promontoire peuvent avoir des réactions géomorphologiques très différentes aux tempêtes (p. ex., Catto *et al.*, 2003).

La fréquence et l'intensité des ouragans ont augmenté dans le nord de l'océan Atlantique depuis 1995 (Goldenberg *et al*, 1997, 2001; Landsea *et al.*, 1998; Debernard *et al.*, 2002; Emanuel, 2005; Webster *et al.*, 2005). Par contre, la relation entre, d'une part, les changements de la fréquence et de la violence des ouragans et, d'autre part, l'élévation de la température de l'air ou de la surface de la mer (TSM) n'est pas encore claire, et les spécialistes des ouragans ne sont pas arrivés à un consensus à ce sujet. Bien que certains auteurs aient indiqué qu'il existe un lien de cause á effet entre les changements de la temperature de surface de la mer (TSM) et ceux de la fréquence et de l'intensité des ouragans (p. ex., Sugi *et al.*, 2002; Trenberth *et al.*, 2003; Knutsen et Tuyela, 2004; Trenberth, 2005), d'autres chercheurs ont exprimé des réserves et reconnu des incertitudes (p. ex., Swail, 1997; Shapiro et Goldenberg, 1998; Pielke *et al.*, 2005; Webster *et al.*, 2005).

À l'heure actuelle, une onde de tempête de plus de 3,6 m au-dessus du niveau moyen de la mer (zéro des cartes) se manifeste environ une fois tous les 40 ans dans le sud du golfe du Saint-Laurent. Plus le niveau de la mer continuera à monter, plus on verra d'ondes de tempête plus hautes. Statistiquement, à la vitesse actuelle de l'élévation du niveau de la mer, le sud du golfe du Saint-Laurent subira une telle onde de tempête de plus de 3,6 m une fois par an d'ici 2100 (Parkes *et al.*, 2006). Une onde de tempête de plus de 4 m au-dessus du zéro des cartes se manifesterait environ tous les dix ans. À Charlottetown, la tempête de janvier 2000 a produit une onde de tempête de 4,22 m au-dessus du zéro des cartes, causant des inondations et des dommages sans précédent dans le sud du golfe du Saint-Laurent (Forbes *et al.*, 2000; Bruce, 2002; McCulloch *et al.*, 2002; Parkes *et al.*, 2006). L'élévation du niveau de la mer produirait des phénomènes comparables environ tous les dix à quinze ans, même si la fréquence et l'intensité de la violence des tempêtes ne changent pas elles-mêmes. En janvier 2100, avec l'élévation du niveau de la mer, une onde de tempête poussée par

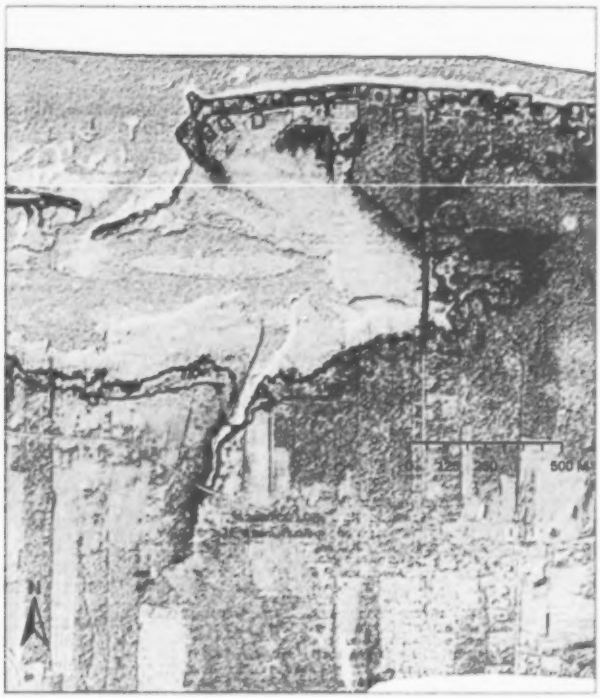


FIGURE 8 : Étendue des inondations par rapport au niveau marin actuel (ligne bleue) et par rapport à un scénario prévoyant une élévation de 60 cm du niveau marin (ligne rouge), en fonction d'une période de récurrence de dix ans, à Pointe-aux-Bouleaux, au Nouveau-Brunswick (Bernier *et al.*, 2006).

FIGURE 9 : Sensibilité du littoral à l'élévation du niveau de la mer dans le Canada atlantique (Shaw *et al.*, 1998).

des vents comparables à ceux du 21 janvier 2000 porterait le niveau de l'eau à 4,52 m au-dessus du zéro des cartes actuel à Charlottetown, inondant ainsi un territoire plus grand. L'élévation du niveau de la mer causera l'inondation de zones plus élevées, autrefois à l'abri de ce phénomène (*voir* la figure 8), et des inondations plus fréquentes des régions basses.

Certaines sections des côtes de l'Atlantique figurent parmi les régions du Canada les plus menacées par une élévation du niveau de la mer (*voir* la figure 9; Shaw *et al.*, 1998). Les changements du niveau de la mer sont le résultat d'une combinaison de facteurs locaux, régionaux, hémisphériques et planétaires, y compris le changement de volume des océans (en raison de la dilatation thermique et de la fonte des glaciers) et l'activité glacio-isostatique. Chaque région côtière réagit différemment à des combinaisons de facteurs différentes, et le changement du niveau de la mer n'est pas identique non plus sur les trois côtes marines du Canada ni dans le reste du monde. Mis à part l'extrême nord du Labrador et le lac Melville, le Canada atlantique est maintenant en subsidence. Les sites archéologiques de Fort Beauséjour, au Nouveau-Brunswick (Scott et Greenberg, 1983; Shaw et Ceman, 1999), de Louisbourg, en Nouvelle-Écosse (*voir* la figure 10; Taylor *et al.*, 2000), de St. Peter's Bay, à l'Île-du-Prince-Édouard

FIGURE 10 : Élévation du niveau de la mer à Louisbourg, en Nouvelle-Écosse (*tiré de* Ressources naturelles Canada, 2006c).

(Josenhans et Lehman, 1999; Shaw *et al.*, 2002), et de Ferryland, à Terre-Neuve (Catto *et al.*, 2000, 2003), entre autres, révèlent que le niveau de la mer monte depuis 1600 environ. La transgression se manifeste par une augmentation de l'érosion sur de nombreuses plages du Canada atlantique et par l'inondation d'arbres et de dépôts terrestres de tourbe. Au cours du XX^{e} siècle, le niveau de la mer de la région de l'Atlantique a monté d'environ 30 cm (*voir* la figure 11). Dans des régions comme la côte sud-est du Nouveau-Brunswick, il pourrait s'élever de 50 cm à 70 cm entre l'an 2000 et 2100 (Parkes *et al.*, 2006). Si le niveau de la mer continue de monter, la gravité des ondes de tempête et des inondations augmentera également dans la région de l'Atlantique.

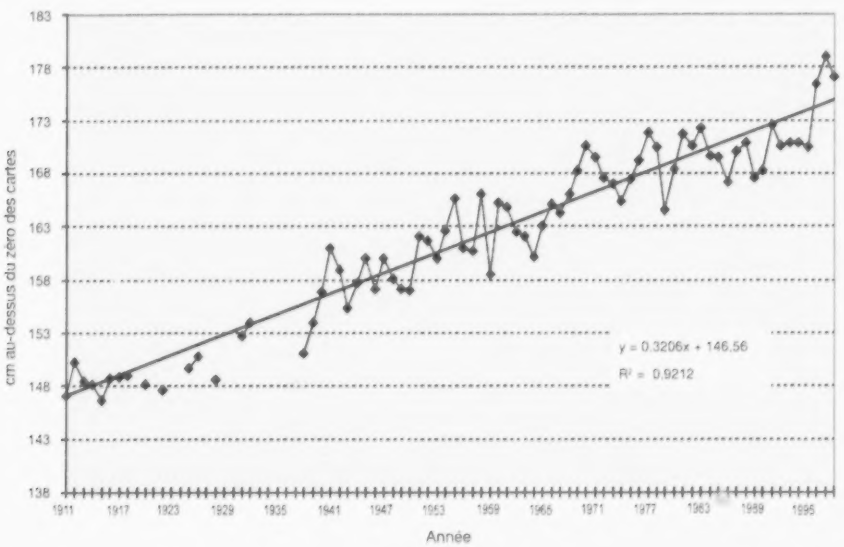


FIGURE 11 : Moyenne actuelle des niveaux d'eau à Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard (de 1911 à 1998), en centimètres au-dessus du zéro des cartes (*tiré de* Parkes *et al.*, 2002). La régression linéaire des données indique une élévation du niveau de la mer d'environ 32 cm par siècle. On a signalé des taux semblables d'élévation du niveau de la mer à Halifax, en Nouvelle-Écosse (Shaw *et al.*, 1998), sur la côte sud-est du Nouveau-Brunswick (Daigle *et al.*, 2006), à St. John's, à Terre-Neuve (Catto, 2006b) et à Channel-Port-aux-Basques, à Terre-Neuve (Catto *et al.*, 2006).

2.3 GLACE DE MER

Le changement climatique aura des répercussions sur la durée et l'étendue de la glace de mer, et les conséquences prévues ne seront pas les mêmes partout au Canada atlantique. Dans le golfe du Saint-Laurent, des hivers doux avec de forts vents du sud-ouest auront pour conséquence de réduire ou d'éliminer la couverture de glace au sud des Îles-de-la-Madeleine. Cette tendance, évidente durant les phases négatives de la NAO, a pour effet d'augmenter l'érosion des côtes nord et est de l'Île-du-Prince-Édouard et de la côte sud-est du Nouveau-Brunswick, de déstabiliser les dunes dénudées de la côte (p. ex., Catto *et al.*, 2002) et de déplacer vers le nord les aires de reproduction des phoques. Simultanément, par contre, les vents du sud-ouest peuvent pousser la glace dans le golfe du Saint-Laurent, ce qui en rend la couverture plus épaisse et plus persistante autour de l'île d'Anticosti, sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent, et dans la péninsule Northern, au nord de St. Paul's, à Terre-Neuve. Les espèces qui se reproduisent en bordure des glaces verraient un décalage de leurs aires de reproduction vers le nord-est plutôt qu'une absence de conditions adéquates. Dans la phase positive de la NAO, dominée par des vents du nord-est, le front glaciaire se déplacerait vers le sud-ouest si la température des eaux du golfe du Saint-Laurent ne changeait pas.

Le long de la côte nord-est de Terre-Neuve-et-Labrador, la force du courant du Labrador transporte la glace vers le sud. À Terre-Neuve, la couverture de glace atteint généralement son étendue maximale vers mars ou avril (Markham, 1980; Côté, 1989). Durant les années de phase négative de la NAO (p. ex., de 1996 à 1997), la glace ne dépasse pas le nord du cap Bonavista, alors que, durant les années de phase positive de la NAO (de 1990 à 1992, 2004), elle peut s'étendre au-delà du sud du cap St. Francis, et un banc de glace se forme sur les plages de la baie Placentia. Les années de phase positive de la NAO sont marquées par une augmentation des vents du nord-est, qui poussent la glace vers les côtes du Labrador et du nord-est de Terre-Neuve, obstruant les ports, faisant obstacle au drainage des estuaires et des anses (ce qui entraîne des inondations localisées) et résultant en poussées glacielles susceptibles d'endommager les infrastructures (p. ex., Catto *et al.*, 2003; Catto, sous presse).

3 SENSIBILITÉS ET ADAPTATION DES ÉCOSYSTÈMES ET DES SECTEURS

3.1 ÉCOSYSTÈMES TERRESTRES

3.1.1 Sensibilités

Sur une période d'une cinquantaine d'années, la plupart des systèmes naturels sont modérément ou très exposés aux répercussions du changement climatique. Comme les systèmes naturels évoluent en réaction au climat depuis la déglaciation, un changement soudain des conditions climatiques mettra à l'épreuve leur capacité d'adaptation. On peut s'attendre à des déplacements de frontières à l'échelle de l'écorégion puis, à terme, de l'écozone. Le changement climatique entrainera des modifications des rythmes et des cycles biologiques associés aux saisons, des pertes d'habitats, la disparition ou l'extinction d'espèces animales et végétales indigènes et l'introduction d'espèces envahissantes. D'autres facteurs anthropiques, notamment ceux liés à l'utilisation des sols, aggraveront ces répercussions du changement climatique.

Le changement climatique provoquera des changements dans les écosystèmes et les espèces dominantes, soit par conversion, où l'espèce dominante est remplacée par une espèce sous-dominante, soit par migration, où les espèces qui peuvent s'adapter rapidement à un nouveau sol ou à de nouveaux facteurs topographiques se déplacent sur de longues distances (Nielson *et al.*, 2005). Dans le sud du Canada atlantique, le sort des écosystèmes déjà très stressés de la forêt acadienne résiduelle (*voir* la figure 12) demeure incertain (Mosseler *et al.*, 2003a, b; Moola et Vasseur, 2004). La forêt boréale peut s'étendre vers le nord aux dépens de la toundra (Heal, 2001), mais des facteurs topographiques et pédologiques entraveront la migration des écosystèmes de la limite forestière (Holtmeier et Broll, 2005; Nielson *et al.*, 2005). À l'heure actuelle, on ne semble avoir constaté que peu de changements récents, sinon aucun, dans la position de la limite forestière nord du Canada (Masek, 2001).

Avec le réchauffement régional du printemps et de l'été, le printemps phénologique a avancé de cinq ou six jours depuis environ 1959 dans l'est de l'Amérique du Nord, comme le révèlent l'apparition des feuilles, la floraison et la nidification (Schwartz et Reiter, 2000). Au Canada atlantique, on a constaté une avancée de la floraison printanière dans certaines régions de l'intérieur, comme la vallée de l'Annapolis, en Nouvelle-Écosse, mais on n'a pas remarqué de différence significative le long de la côte (Vasseur *et al.*, 2001). De fréquents épisodes de dégel en hiver ou de gel à la fin du printemps ont provoqué un dépérissement terminal de la cime du bouleau jaune dans tout l'est du Canada (Cox et Arp, 2001; Bourque *et al.*, 2005; Campbell *et al.*, 2005). Au cours des prochaines décennies, les changements phénologiques pourraient être favorables, comme dans le cas de l'amélioration de la productivité agricole, ou défavorables, comme dans celui du dégel hivernal responsable du fendillement du tronc des épinettes rouges (*voir* Mosseler *et al.*, 2000).

FIGURE 12 : Forêt acadienne près de Strathgartney, dans l'Île-du-Prince-Édouard.

Les oiseaux risquent de souffrir du changement climatique, en particulier des changements du printemps phénologique. On a constaté que l'avancée des journées plus chaudes durant la saison de nidification nuit au succès de la reproduction des oiseaux de mer nicheurs en raison du stress causé par la chaleur et du parasitisme des moustiques (Gaston *et al.*, 2002). Le moment de la migration des oiseaux risque également de changer en raison de l'élévation des températures au printemps, bien que les grands migrateurs semblent modifier le moment de leur migration en réaction à des changements climatiques des conditions météorologiques et phénologiques (Marra *et al.*, 2006). La grande variété d'oiseaux présents dans une région donnée représente de nombreux habitats et habitudes et, comme on les a beaucoup observés et étudiés, ils constituent des indicateurs utiles des changements environnementaux (Boucher et Diamond, 2001).

Les migrations à grande distance exigent de l'énergie, et les oiseaux migrateurs doivent trouver un équilibre entre la recherche de nourriture et le temps passé à voyager à des températures peu ou pas idéales. L'utilisation d'une halte migratoire donnée varie en fonction des conditions climatiques et météorologiques à l'endroit en question, et présente une grande variabilité interannuelle. Les liens avec les facteurs environnementaux semblent indiquer que les oiseaux migrateurs sont sensibles à la variabilité du climat, ce qui a des répercussions sur les efforts de conservation. Une étude détaillée de l'impact du changement climatique sur les espèces d'oiseaux chanteurs migrateurs au Canada atlantique est en cours (Taylor, 2006).

La dynamique de la faune est étroitement liée au climat. La migration saisonnière du cerf de Virginie au Nouveau-Brunswick semble dépendre de la variabilité du climat hivernal qui influe sur l'épaisseur de la couverture de neige (Sabine et Morrison, 2002). Quand l'hiver est doux, cette espèce peut occuper des régions où on ne la voit normalement pas. L'aire de répartition des orignaux ne

descend pas plus bas au sud que la Nouvelle-Écosse, et ces animaux pourraient se disperser plus au nord si le climat se réchauffe (Snaith et Beazley, 2004). Une étude des effets de la NAO sur les ongulés nordiques a révélé un déclin des populations de caribou dans le nord du Québec et au Groenland pendant les hivers plus doux (Post et Stenseth, 1999), phénomène qui semble indiquer que l'on peut s'attendre à ce que les populations de caribou des forêts de Terre-Neuve-et-Labrador soient touchées de façon défavorable par le réchauffement du climat.

3.1.2 Adaptation

Les systèmes naturels se sont révélés relativement résilients aux changements climatiques du passé. Toutefois, ces changements se déroulaient sur de longues périodes et n'étaient pas amplifiés par d'autres facteurs de stress dus à l'homme. Laissés à eux-mêmes, les écosystèmes évolueraient en réaction aux changements des conditions environnementales. La nécessité pour l'homme d'exploiter les ressources naturelles fait toutefois que des changements à court terme touchant les écosystèmes ne peuvent que susciter certaines préoccupations.

Les différences dans la durée de vie et la taille des organismes individuels influent sur le degré d'exposition de chaque espèce, de même que sur l'immédiateté de sa réaction à de nouvelles conditions. Les insectes réagissent plus rapidement aux variations et au changement du climat, en termes de survie comme de migration, que les arbres et les gros mammifères.

Parmi les méthodes d'adaptation aux impacts du changement climatique sur les écosystèmes naturels figurent la gestion exhaustive et intégrée de l'affectation des terres combinée à la protection des principaux habitats et espèces, l'utilisation durable des espèces végétales et animales, ainsi que des mécanismes d'éducation, de sensibilisation et d'action auprès du public (Gitay *et al.*, 2001; MacIver et Wheaton, 2005). Bien que la planification régionale générale de la protection de la biodiversité ne soit pas encore une réalité au Canada atlantique, toutes les provinces ont adopté une quelconque stratégie de zones protégées ainsi que des politiques et des règlements en matière de gestion de la faune et des forêts; il existe des structures équivalentes dans les zones qui relèvent du gouvernement fédéral. Pour des espèces en péril, comme l'aster et le pluvier siffleur (*voir* la figure 13), au sud du golfe du Saint-Laurent, de même que la braya de Long et la braya de Fernald, au nord de Terre-Neuve (*voir* l'encadré 3), il est important que l'on tienne compte de l'analyse de la sensibilité et du risque relatifs au changement climatique dans les plans de gestion ou de rétablissement. Maintenir et améliorer un réseau interrelié de parcs

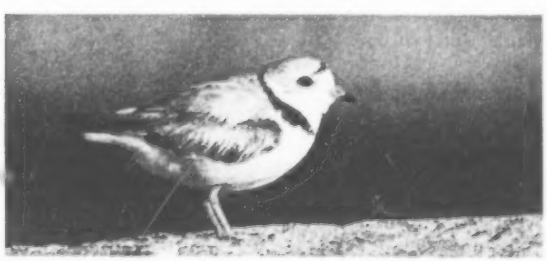


FIGURE 13 : Pluvier siffleur, une espèce en voie de disparition qui fréquente les zones côtières. Photo gracieuseté de Sydney Maddock.

ENCADRÉ 3

Stratégie d'adaptation des végétaux endémiques des sols calcaires de Terre-Neuve

Les espèces végétales et animales disparaissent de la planète à raison de plus de 20 par jour, principalement à cause de la perte d'habitats due à l'activité humaine. Soucieux de préserver la biodiversité, des gouvernements ont promulgué des lois visant à reconnaître les espèces en voie de disparition et à favoriser leur survie et leur rétablissement (Environnement Canada, 2003). Le changement climatique aggrave le problème de la protection des habitats essentiels et du rétablissement des espèces.

Parmi les espèces inscrites sur la liste des espèces « en voie de disparition » figure la braya de Long (*Braya longii*), une espèce végétale arctique-alpine. On ne la trouve qu'à Terre-Neuve et seulement sur de rares étendues de landes calcaires en bordure de la côte, presque au bout de la péninsule Northern. Une autre espèce, la braya de Fernald (*B. fernaldii*), qui figure sur la liste des espèces « menacées », est présente dans la même région, mais aussi un peu au-delà de cette dernière. Avec le saule des landes (*Salix jejuna*), également menacé, ces trois espèces endémiques ne se retrouvent ensemble que dans ces zones de landes calcaires. Des hybrides des deux espèces de braya se sont établis, surtout aux endroits où la construction de routes et l'élimination du gravier ont permis un contact étroit. Les deux espèces de braya sont exposées à l'infection par un champignon pathogène et à la prédation de la larve de la fausse-teigne des crucifères (une espèce qui gagne Terre-Neuve au printemps et à l'été). Le fort gradient latitudinal de température vers le nord le long de la péninsule limite la gravité de ces effets. Comme on a pu le constater pendant les récentes années plus chaudes, l'élévation des températures de la région prévue par les scénarios de changement climatique aggravera très probablement ces menaces naturelles (Hermanutz *et al.*, 2004, Parsons et Hermanutz, 2006).

Photo: La braya de Long (*Braya longii*) est une espèce en voie de disparition. Photo gracieuseté de Joe Brazil.

Comme dans le cas d'autres espèces menacées de disparition au Canada, on a mis en œuvre une stratégie de rétablissement des peuplements de braya et de saule des landes dans la péninsule Northern, qui combine protection de l'habitat, surveillance et recherches. Étant donné l'importance de la perturbation de nature anthropique, la gestion communautaire est de toute première importance et les collectivités font preuve d'un grand sens des responsabilités. Avec le temps, le changement climatique pourrait faire que la braya de Long soit incapable de survivre dans son milieu actuel. Par contre, la stratégie d'adaptation mise en place par l'Équipe de rétablissement de la flore rare des terrains dénudés calcareux permettra de préserver ces espèces dans les jardins botaniques de la province (Hermanutz *et al.*, 2002).

et de zones protégées est un moyen d'améliorer la capacité des écosystèmes naturels à s'adapter aux changements des conditions. (Mosseler *et al.*, 2003a, b; Beazley *et al.*, 2005). Même si les zones protégées sont elles-mêmes exposées aux effets du changement climatique (Scott *et al.*, 2002), elles peuvent constituer une base de surveillance et d'évaluation du changement survenu dans des écosystèmes moins perturbés par l'activité humaine que ceux qui les entourent.

3.2 ZONES CÔTIÈRES

3.2.1 Sensibilités

Le Canada atlantique se définit par ses côtes. L'aménagement (surtout résidences et quais communautaires) y exerce de plus en plus de stress, et l'élévation du niveau de la mer, l'érosion et les inondations progressent et se feront de plus en plus fréquentes (Daigle *et al.*, 2006). Les facteurs géologiques, le taux d'élévation du niveau de la mer, l'ampleur de l'érosion des côtes, le régime des vagues et celui des marées permettent de calculer la sensibilité à l'élévation du niveau marin de certaines portions du rivage (p. ex., Gornitz *et al.*, 1993). On a procédé à une telle évaluation pour tout le Canada atlantique, à l'échelle générale de la région (*voir* la figure 9; Shaw *et al.*, 1998), puis à des évaluations plus détaillées de certaines portions du littoral (p. ex., Chmura *et al.*, 2001; Catto *et al.*, 2003; Daigle *et al.*, 2006; Shaw, 2006). L'érosion touche les littoraux les plus fragiles, comme les dunes, les plages de sable et les plages de galets, ou les endroits où des sédiments meubles ou un socle peu consolidé forment des falaises côtières. On trouve des côtes dunaires dans les quatre provinces de l'Atlantique.

Dans toute la région sud du golfe du Saint-Laurent, l'élévation du niveau de la mer, une augmentation de l'utilisation des côtes pour la construction de résidences ou aux fins de tourisme et la réduction de la couverture de glace hivernale ont accéléré l'érosion et dégradé les dunes et le littoral; on en trouve des exemples dans le nord-est de l'Île-du-Prince-Édouard (Catto *et al.*, 2002), dans le sud-ouest et l'ouest de Terre-Neuve (Pittman et Catto, 2001; Catto, 2002; Ingram, 2005) et dans l'est de Terre-Neuve (Catto, 1994). L'érosion causée par les tempêtes hivernales tend à produire des plages à granulométrie plus grossière et à pente plus prononcée. Les facteurs locaux, toutefois, jouent un rôle dominant dans les résultats constatés sur une plage donnée (Catto *et al.*, 2003; Catto, 2006, 2006a, b, sous presse).

D'autres littoraux sont également sensibles à l'érosion (*voir* la figure 14a, b). On a mesuré un taux d'érosion côtière de plus de 5 m par an dans les falaises composées de sédiments glaciaires, à Chezzetcook, en Nouvelle-Écosse, accompagnée de la migration du cordon littoral vers l'intérieur (Forbes *et al.*, 1995; Orford *et al.*, 1995; Taylor *et al.*, 1997). On a aussi constaté des taux d'érosion de 0,7 m par mois, de décembre 2003 à avril 2004, au parc provincial Sandbanks, à Terre-Neuve-et-Labrador (Ingram, 2004). Dans la baie Cascumpec, à l'Île-du-Prince-Édouard, l'érosion a fait reculer la côte de 115 m entre 1974 et 2004, soit de 3,8 m par an (Conroy, 2007).

L'élévation continue du niveau de la mer augmente les risques associés aux tempêtes (Taylor *et al.*, 1996a; Shaw *et al.*, 1998, 2001; Bruce *et al.*, 2000; Parkes *et al.*, 2006). On a ainsi constaté une accélération de l'érosion côtière dans plusieurs localités, notamment sur la côte sud de la Nouvelle-Écosse (Taylor *et al.*, 1985, 1996a; Shaw *et al.*, 1993, 1994), dans l'est du Nouveau-Brunswick (Ollerhead et Davidson-Arnott, 1995; Shaw *et al.*, 1998; Daigle *et al.*, 2006; Ollerhead, 2006), sur la côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard (Forbes *et al.*, 2002; McCulloch *et al.*, 2002) et dans la baie Conception, à Terre-Neuve-et-Labrador (Taylor, 1994; Liverman *et al.*, 1994a, b; Batterson *et al.*, 1999; Catto *et al.*, 2003). Par exemple, des observations effectuées de 1989 à 2005 à Mobile, à Terre-Neuve-et-Labrador (Catto, 2006b), indiquent que l'érosion a augmenté dans la partie supérieure du système de plages (*voir* la figure 15). Plus bas, les dépôts ne suffisent plus à compenser et à maintenir le volume total de sédiments. Le sable de cette plage est de moins en moins fin, et sa largeur diminue à mesure que le niveau de la mer monte. Il semble que la plage perde de sa stabilité à mesure que les tempêtes, surtout l'hiver et au printemps, se combinent au piétinement de l'homme pour en modifier encore plus l'aspect.

À titre d'exemple, on a cartographié en détail et évalué la sensibilité à l'érosion d'un rivage, dans ce cas celui entre Conception Bay South et Holyrood (*voir* la figure 16; Smith *et al.*, 2004a; *voir également* Smith *et al.*, 2005). Cette carte de sensibilité a permis de déceler quatre grands risques : inondation des côtes et ondes de tempête, dommages causés aux infrastructures par les tempêtes, érosion des côtes, détérioration des zones écologiques côtières (Shaw *et al.*, 1998; Catto *et al.*, 2003).

a)

b)

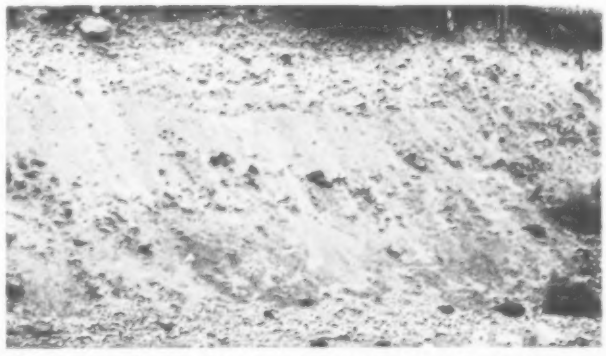


FIGURE 14 : a) Érosion côtière au Parc provincial Union Corner, dans l'Île-du-Prince-Édouard et b) érosion active de l'escarpement à Middle Cove, à Terre-Neuve-et-Labrador.

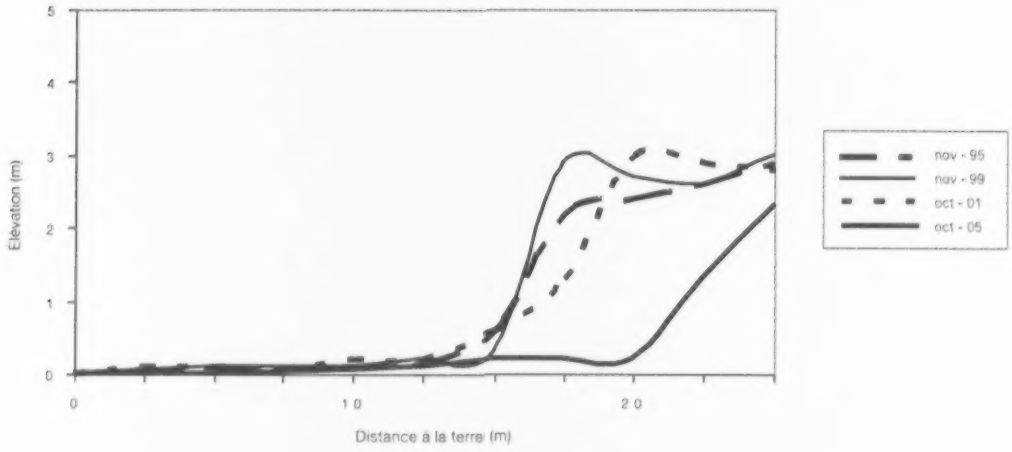


FIGURE 15 : Mesures successives effectuées le long d'un transect de plage, à Mobile (Terre-Neuve-et-Labrador), qui témoignent de l'érosion survenue de novembre 1995 à octobre 2005 (Catto, sous presse).

FIGURE 16 : Carte de la sensibilité côtière à Conception Bay South et Holyrood, à Terre-Neuve-et-Labrador (Smith *et al.*, 2005).

3.2.2 Adaptation

On distingue trois grandes catégories d'adaptation auxquelles pourraient avoir recours les régions touchées par l'érosion des côtes, l'élévation du niveau de la mer et les ondes de tempête (Nicholls et Mimura, 1998; Nicholls, 2003) :

- Pour le retrait planifié, on reconnaît que l'érosion des côtes est inévitable et qu'il vaut mieux abandonner les zones situées trop près du rivage, ou n'y installer que des structures temporaires ou sacrifiables.
- Pour l'accommodement, on choisit des techniques de construction qui visent à réduire les dommages au minimum (p. ex., en installant les bâtiments sur des pilotis), ou on adopte des plans d'affectation des terres ou d'aménagement qui ne permettent que des structures qui doivent nécessairement être situées sur le rivage (p. ex., ports ou usines de transformation du poisson) et interdisent les autres types de construction (comme les résidences privées).
- Pour la protection, on choisit de consolider le rivage, soit par des solutions d'ingénierie lourdes (ouvrages longitudinaux, enrochements, épis) ou légères (p. ex., dunes couvertes de végétaux comme l'ammophile).

Une planification à l'échelle municipale qui comporterait une combinaison de ces trois catégories pourrait déboucher sur des solutions à long terme favorables aux collectivités.

Face à un risque important, la solution la plus simple est le retrait planifié. Pour ce faire, il faut déterminer une marge de reculement et désigner une zone le long du rivage où l'érection de structures permanentes sera interdite. Dans le cas de Shediac, au Nouveau-Brunswick, l'analyse des dommages passés et des tendances actuelles des dommages liés à l'élévation du niveau de la mer, aux ondes de tempête et à l'érosion des côtes a mené à des discussions sur les mesures d'adaptation possibles, dont le retrait (*voir* la figure 17; Murphy *et al.*, 2006). Ces discussions reposaient sur la susceptibilité des résidences en termes de dédommagement économique après une inondation et tenaient compte des classes 5 et 6 d'inondation (les zones les plus exposées). Dans la province du Nouveau-Brunswick, certains retraits planifiés seraient applicables en vertu de la Politique de protection des zones côtières pour le Nouveau-Brunswick (Département de l'Environnement et Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick, 2002) en vigueur; cette politique favorise également la protection des régions côtières en interdisant de construire à moins de 30 m de la laisse des grandes marées et en ne permettant la construction de structures permanentes qu'à l'extérieur de la marge de reculement.

La Politique de protection des zones côtières pour le Nouveau-Brunswick (Département de l'Environnement et Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick, 2002) prévoit des dispositions de portée générale pour la gestion des zones côtières et les mesures d'adaptation à l'échelle locale. Cependant, des intervenants et des planificateurs ont mentionné qu'un bon nombre de propriétaires ont profité du retard dans l'application de la Politique pour s'empresser de construire avant l'entrée en vigueur de la réglementation (Martin et Chouinard, 2005). Malgré les risques, ceux qui veulent tout de même construire près du rivage sont encore nombreux. Bien que les outils nécessaires soient disponibles et que les instances municipales soient en mesure de mettre en

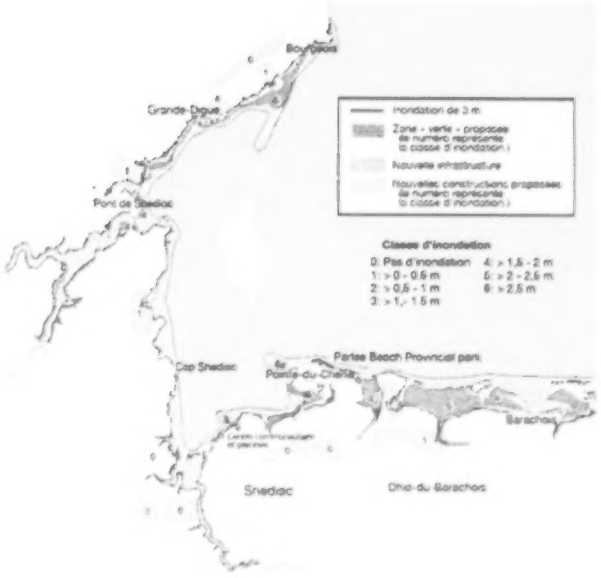


FIGURE 17 : Classification des inondations côtières, scénario de conditions économiques optimistes, à Shediac, au Nouveau-Brunswick (Daigle *et al.*, 2006).

place des plans susceptibles de permettre le contrôle des projets de mise en valeur des zones côtières à l'échelle locale, on perçoit un manque de ressources et de constance dans leur application (Martin et Chouinard, 2005), ce dont des particuliers, des représentants de l'administration municipale et des groupes environnementaux se sont d'ailleurs plaints.

Des études menées à l'Île-du-Prince-Édouard, au Nouveau-Brunswick et à Terre-Neuve ont souligné le besoin d'une meilleure planification dans les régions rurales et urbaines, soit une planification qui tienne compte de l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempête (p. ex., Paone *et al.*, 2003; Smith *et al.*, 2005). Toutefois, il n'existe actuellement aucune politique de protection des côtes à l'Île-du-Prince-Édouard, à Terre-Neuve ni en Nouvelle-Écosse (à l'exception de la *Loi sur les plages*), et certaines régions subissent énormément de pressions de la part des promoteurs immobiliers. Dans les régions côtières, les résidents se sont beaucoup attachés à l'endroit qu'ils occupent, et peu d'entre eux considèrent le retrait comme une option.

Le taux d'érosion à long terme est un bon guide pour fixer la marge de reculement (Taylor, 1994) et déterminer les endroits où certaines structures seraient en danger. Le manque de données provenants de la surveillance à long terme de l'érosion des côtes fait que, toutefois, le taux actuel d'érosion ne peut pas nécessairement servir d'indicateur de l'ordre de grandeur des phénomènes passés (ou à venir). En outre, comme l'érosion est surtout causée par des tempêtes individuelles, l'évaluation du risque exige que l'on connaisse la probabilité de l'effet maximal d'une tempête donnée plutôt que de simplement surveiller et voir aux faibles pertes quotidiennes et progressives de sédiments.

L'accommodement vise surtout à réduire au minimum les répercussions de ce phénomène sur la vie des gens, en modifiant leur utilisation de la zone côtière, sans nécessairement protéger les entités naturelles. Pour l'instant, ce n'est pas une stratégie d'adaptation couramment appliquée au Canada atlantique. On trouve toutefois, sur les côtes du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse, des exemples localisés de maisons construites sur pilotis (*voir* la figure 18), ce qui permet aux ondes de tempête de passer en dessous. Ce sont les propriétaires eux-mêmes qui ont pris une telle décision. À bien des endroits, la solution proposée a été l'adoption d'un système de zonage exhaustif (p. ex., Département de l'Environnement et Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick, 2002), mais on accorde souvent des dérogations.

La protection, une stratégie d'adaptation fréquemment utilisée, consiste à réduire les répercussions des phénomènes extrêmes, de l'érosion et du changement climatique sur les entités naturelles au moyen de mesures d'ingénierie lourdes ou légères. Les mesures d'adaptation les plus courantes sont les ouvrages longitudinaux, les brise-lames et les épis, de même que la mise en place d'enrochements et de gabions. Il s'agit également de mesures auxquelles la plupart des résidents et des propriétaires des régions côtières accordent leur préférence. Ces structures d'ingénierie lourde coûtent cher, nécessitent une surveillance et un entretien constants, et risquent de ne pas donner de bons résultats si elles sont mal conçues ou mal construites. L'action répétée des tempêtes et l'élévation du niveau de la mer posent en effet des problèmes de conception et d'entretien des structures de protection en dur. En outre, certaines collectivités et certains propriétaires ont eu recours à des techniques inappropriées pour protéger leur propriété, comme l'utilisation de différents matériaux de construction pour les digues ou les sections de transition des digues, ce qui a entraîné un manque d'homogénéité (tel que cela s'est produit à la Nouvelle-Orléans, *voir* Nicholson, 2005).

FIGURE 18 : La construction de bâtiments sur pilotis est un exemple d'adaptation réduisant la vulnérabilité aux ondes de tempête. Grand-Barachois (près de Shediac), détroit de Northumberland, sud-est du Nouveau-Brunswick. Photo gracieuseté d'Armand Robichaud.

Dans certaines régions, comme le parc Victoria, à Charlottetown, dans l'Île-du-Prince-Édouard, des préoccupations d'ordre esthétique ont influencé la conception des mesures de protection du littoral. À Summerside, dans l'Île-du-Prince-Édouard, et à Trout River, à Terre-Neuve-et-Labrador, on a conçu des structures de protection qui puissent également servir de sentier pédestre. Dans certaines instances, les mesures de protection sont couvertes par la réglementation comme, par exemple, la *Beaches Act*, ou loi sur les plages, de la Nouvelle-Écosse (Nova Scotia House of Assembly, 2000).

Parmi les solutions d'ingénierie légère figurent le reprofilage des falaises pour réduire l'érosion, et l'entretien ou l'ajout de végétation. On utilise couramment le roseau des sables à cette fin dans les régions de dunes côtières du Canada atlantique (p. ex., l'Éco-centre Irving, à Bouctouche, au Nouveau-Brunswick; G. Arsenault, communication personnelle, 2004). On plante également des conifères, mais ces derniers coûtent plus cher et sont plus fragiles face aux effets des embruns. La restauration des marais salants pourrait également être une solution d'adaptation efficace pour protéger le littoral contre l'élévation du niveau de la mer (Ollerhead, 2006).

Un aspect important des stratégies d'adaptation est d'amener les résidents à mieux comprendre les principaux problèmes auxquels sera confrontée leur collectivité. La planification et les activités communautaires s'avéreront probablement les initiatives les plus efficaces. Pour stimuler la participation de la collectivité, il faudrait élaborer et mettre en œuvre un programme d'éducation et de sensibilisation du public. Sans l'appui de la collectivité, la mise en œuvre du retrait planifié ou de l'accommodement par l'intermédiaire du zonage ne saurait être efficace.

Même si la plupart des réglementations provinciales et des plans d'aménagement municipaux (p. ex., la Commission de district d'aménagement Beaubassin, *voir* Daigle *et al.*, 2006) prévoient des dispositions pour protéger les zones côtières, très peu d'entre eux tiennent compte du changement climatique dans leur planification à long terme et dans la protection des habitats, ce qui entraîne des problèmes d'adaptation au changement du niveau de la mer et à l'érosion côtière. C'est pourquoi il faudra peut-être déménager les infrastructures côtières ou assister à leur détérioration progressive (*voir* la figure 19). Dans la plupart des cas, le manque de

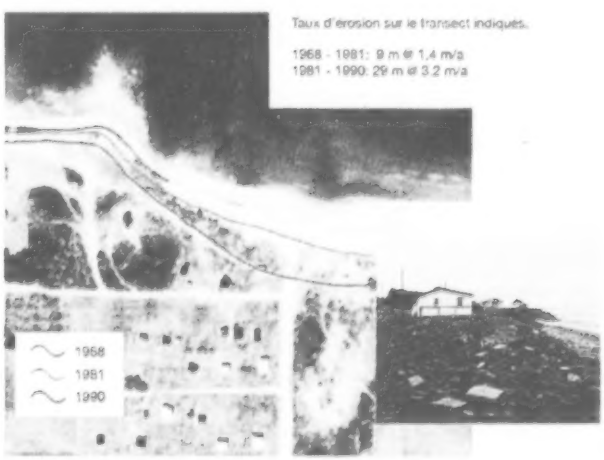


FIGURE 19 : Photographie aérienne des terres à Pigots Point (Île-du-Prince-Édouard). Le littoral, tel qu'il apparaissait en 1968, 1981 et 1990, y est représenté. L'infrastructure est maintenant menacée en raison de l'élévation du niveau de la mer et de l'érosion côtière.

planification à long terme, de financement et de terrains disponibles où déplacer les infrastructures est un facteur qui limite l'adaptation (DeLusca *et al.*, 2006).

3.3 ÉCOSYSTÈMES MARINS ET PÊCHES

3.3.1 Sensibilités

Les ressources marines sont vitales sur le plan socio-économique dans tout le Canada atlantique. Les répercussions directes du changement climatique sur les espèces biologiques découlent des changements de la température de l'océan en surface et en sub-surface, des changements de la durée et de l'étendue de la glace de mer et des changements subis par les plages et les régions littorales fréquentées par les espèces qui viennent s'y nourrir et frayer. Les modifications de la répartition des espèces parasites et pathogènes sont un autre sujet d'inquiétude. Les exploitations aquacoles pourraient subir les effets des changements de l'activité cyclonique sur les côtes, de l'érosion côtière des marais salants et des systèmes de dunes-barrières qui les protègent (en particulier sur la côte du golfe du Saint-Laurent), et de changements dans les apports d'eau douce et de sédiments terrestres dans les estuaires. Le changement climatique pourrait également toucher de nombreux aspects de l'industrie de la pêche, y compris le transport, la commercialisation, la santé et la sécurité au travail, et le bien-être communautaire (*voir également* la section 3.10; Catto *et al.*, 2006; Catto, sous presse; Sjare *et al.*, 2006). Bon nombre de ces impacts sont liés aux changements de l'état de la mer et de l'activité cyclonique.

L'incidence du changement climatique sur les pêches, les pêcheurs professionnels et les villages de pêcheurs a varié, dans le temps et dans l'espace, dans tout le nord-ouest de l'Atlantique Nord. Ce rôle est passé de celui d'un « acteur de soutien » au simple « bruit de fond » (Catto et Catto, 2004). Ce n'est que dans les cas d'épuisement des stocks dû à des causes purement écologiques que le changement climatique pouvait alors être considéré comme l'« élément moteur » du problème.

Au Canada atlantique, le secteur des pêches subit l'influence du Gulf Stream et du courant du Labrador (*voir* la figure 20). Le Gulf Stream est le courant le mieux défini et le plus fort de l'Atlantique Nord, transportant 55 millions m^3 d'eau à la seconde le long de la côte maritime du Canada atlantique (Narayanan, 1994; Beer, 1996; Kearns, 1996). Dans les années à venir, on prévoit un réchauffement du Gulf Stream et une réduction du débit du fleuve Saint-Laurent, de même qu'un réchauffement de ses eaux, surtout en été. Une augmentation des vents du sud-ouest entraînerait une augmentation du débit du courant vers le Canada atlantique. Dans le golfe du Saint-Laurent, la baisse du débit et le réchauffement du Saint-Laurent en été affaibliraient le contre-courant plus froid qui suit la côte est du Nouveau-Brunswick, toutes les côtes de l'Île-du-Prince-Édouard et la côte atlantique de la Nouvelle-Écosse, y rendant les étés encore plus chauds. L'affaiblissement du contre-courant et le réchauffement simultané du Gulf Stream offriraient les conditions stet à la propagation vers le nord d'organismes marins en provenance du milieu de la côte atlantique des États-Unis, dont, certes, des espèces de poisson désirables sur le plan économique, mais aussi des espèces parasites et pathogènes.

Un réchauffement des eaux du Gulf Stream rallongerait la phase de formation de la carapace molle de l'exuvie du crabe. Les crabes pris à ce stade ne peuvent pas être efficacement transformés ou commercialisés, ce qui se traduit par un gaspillage d'efforts et des pertes de revenus. Les pêcheurs professionnels ont déjà eu à composer avec ce problème de formation prématurée de la carapace molle au cours des dernières années. Les jeunes crabes semblent les plus vulnérables aux changements de la température de l'eau puisque les caractéristiques propres à leur habitat leurs offrent peu de latitude, ce qui constitue d'ailleurs un maillon faible dans le cycle de vie du crabe des neiges (Dionne *et al.*, 2006).

Dans les eaux côtières du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse et de l'Île-du-Prince-Édouard (y compris celles utilisées pour l'aquaculture), la diminution des précipitations sur les terres en été ferait baisser le débit des cours d'eau. Dans les milieux estuariens, les épisodes d'étiage en été sont à l'origine de l'augmentation des épisodes d'infiltration d'eau salée, y haussant ainsi le taux de salinité. La diminution de la vitesse et du débit des rivières favorise la propagation de la laitue de mer (*Ulva lattuca*), phénomène contribuant à l'augmentation de l'eutrophisation; les estuaires conviennent alors moins bien à l'aquaculture des

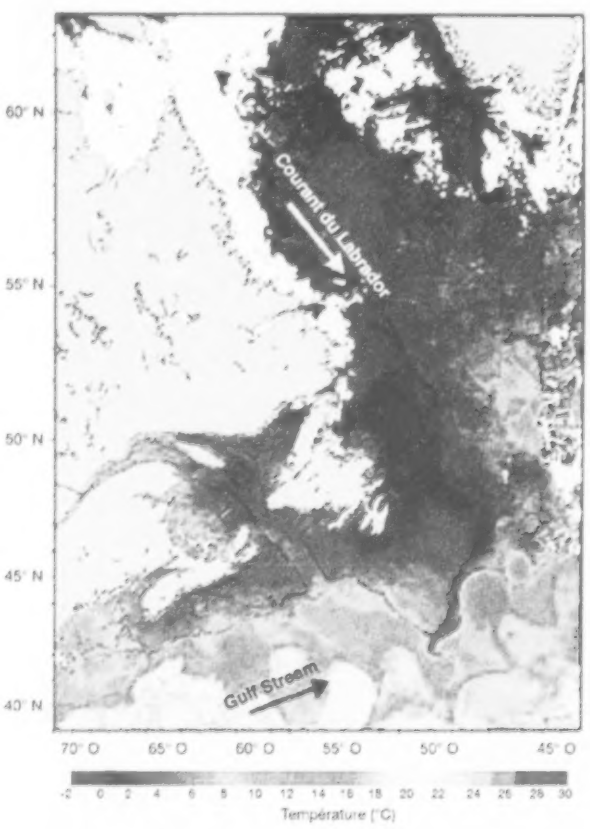


FIGURE 20 : Image thermique du Canada atlantique, sur laquelle on voit le courant du Labrador, le Gulf Stream, et le contre-courant froid le long du littoral de la Nouvelle-Écosse (*tiré de* Ressources naturelles Canada).

planification à long terme, de financement et de terrains disponibles où déplacer les infrastructures est un facteur qui limite l'adaptation (Del Useca *et al.*, 2006).

3.3 ÉCOSYSTÈMES MARINS ET PÊCHES

3.3.1 Sensibilités

Les ressources marines sont vitales sur le plan socio-économique dans tout le Canada atlantique. Les répercussions directes du changement climatique sur les espèces biologiques découlent des changements de la température de l'océan en surface et en subsurface, des changements de la durée et de l'étendue de la glace de mer et des changements subis par les plages et les régions littorales fréquentées par les espèces qui viennent s'y nourrir et frayer. Les modifications de la répartition des espèces parasites et pathogènes sont un autre sujet d'inquiétude. Les exploitations aquacoles pourraient subir les effets des changements de l'activité cyclonique sur les côtes, de l'érosion côtière des marais salants et des systèmes de dunes-barrières qui les protègent (en particulier sur la côte du golfe du Saint-Laurent), et de changements dans les apports d'eau douce et de sédiments terrestres dans les estuaires. Le changement climatique pourrait également toucher de nombreux aspects de l'industrie de la pêche, y compris le transport, la commercialisation, la santé et la sécurité au travail, et le bien-être communautaire (*voir également* la section 3.10; Catto *et al.*, 2006; Catto, sous presse; Stare *et al.*, 2006). Bon nombre de ces impacts sont liés aux changements de l'état de la mer et de l'activité cyclonique.

L'incidence du changement climatique sur les pêches, les pêcheurs professionnels et les villages de pêcheurs a varié, dans le temps et dans l'espace, dans tout le nord-ouest de l'Atlantique Nord. Ce rôle est passé de celui d'un « acteur de soutien » au simple « bruit de fond » (Catto et Catto, 2004). Ce n'est que dans les cas d'épuisement des stocks dû à des causes purement écologiques que le changement climatique pouvait alors être considéré comme l'« élément moteur » du problème.

Au Canada atlantique, le secteur des pêches subit l'influence du Gulf Stream et du courant du Labrador (*voir* la figure 20). Le Gulf Stream est le courant le mieux défini et le plus fort de l'Atlantique Nord, transportant 55 millions m³ d'eau à la seconde le long de la côte maritime du Canada atlantique (Narayanan, 1994; Beer, 1996; Kearns, 1996). Dans les années à venir, on prévoit un réchauffement du Gulf Stream et une réduction du débit du fleuve Saint-Laurent, de même qu'un réchauffement de ses eaux, surtout en été. Une augmentation des vents du sud-ouest entraînerait une augmentation du débit du courant vers le Canada atlantique. Dans le golfe du Saint-Laurent, la baisse du débit et le réchauffement du Saint-Laurent en été affaibliraient le contre-courant plus froid qui suit la côte est du Nouveau-Brunswick, toutes les côtes de l'Île-du-Prince-Édouard et la côte atlantique de la Nouvelle-Écosse, y rendant les étés encore plus chauds. L'affaiblissement du contre-courant et le réchauffement simultané du Gulf Stream offriraient les conditions stet à la propagation vers le nord d'organismes marins en provenance du milieu de la côte atlantique des États-Unis, dont, certes, des espèces de poisson désirables sur le plan économique, mais aussi des espèces parasites et pathogènes.

Un réchauffement des eaux du Gulf Stream rallongerait la phase de formation de la carapace molle de l'exuvie du crabe. Les crabes pris à ce stade ne peuvent pas être efficacement transformés ou commercialisés, ce qui se traduit par un gaspillage d'efforts et des pertes de revenus. Les pêcheurs professionnels ont déjà eu à composer avec ce problème de formation prématurée de la carapace molle au cours des dernières années. Les jeunes crabes semblent les plus vulnérables aux changements de la température de l'eau puisque les caractéristiques propres à leur habitat leurs offrent peu de latitude, ce qui constitue d'ailleurs un maillon faible dans le cycle de vie du crabe des neiges (Dionne *et al.*, 2006).

Dans les eaux côtières du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse et de l'Île-du-Prince-Édouard (y compris celles utilisées pour l'aquaculture), la diminution des précipitations sur les terres en été ferait baisser le débit des cours d'eau. Dans les milieux estuariens, les épisodes d'étiage en été sont à l'origine de l'augmentation des épisodes d'infiltration d'eau salée, y haussant ainsi le taux de salinité. La diminution de la vitesse et du débit des rivières favorise la propagation de la laitue de mer (*Ulva lattuca*), phénomène contribuant à l'augmentation de l'eutrophisation; les estuaires conviennent alors moins bien à l'aquaculture des

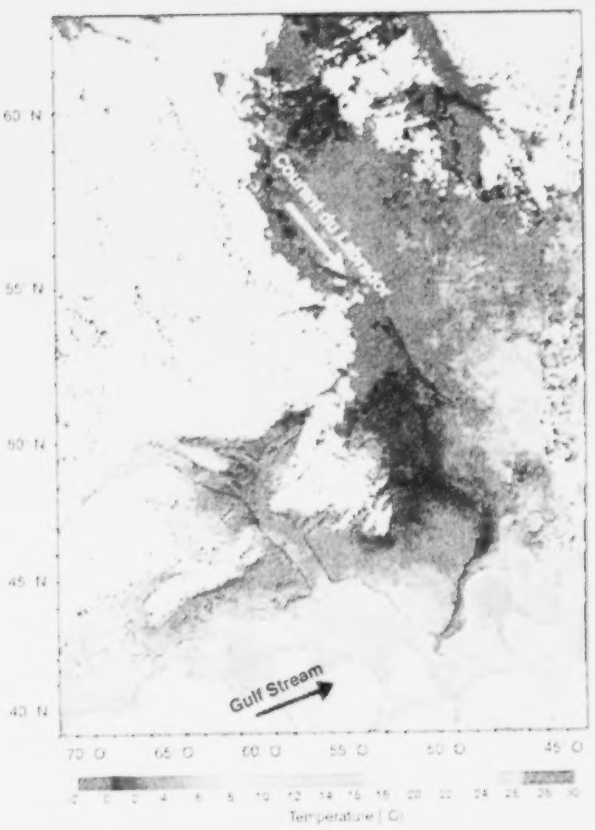


FIGURE 20 : Image thermique du Canada atlantique, sur laquelle on voit le courant du Labrador, le Gulf Stream, et le contre-courant froid le long du littoral de la Nouvelle-Écosse (tiré de Ressources naturelles Canada).

mollusques, des crustacés et des poissons, et présentent moins d'intérêt pour les résidents et les touristes (*voir* la figure 21). La prolifération de la laitue de mer constatée dans les baies Cascumpec et Tracadie de 1990 à 2006 résulte de la réduction de l'apport en eau douce, du ralentissement de la circulation dans les estuaires et de l'addition d'engrais d'origine agricole (Conroy, 2007). Les modifications aux pratiques agricoles qui intensifient l'irrigation et l'usage de fertilisants favoriseront donc la propagation de la laitue de mer. La baisse du débit des rivières Saint-Jean (*voir* Bruce *et al.*, 2003), Petitcodiac et Annapolis aurait des effets similaires sur les eaux côtières de la baie de Fundy.

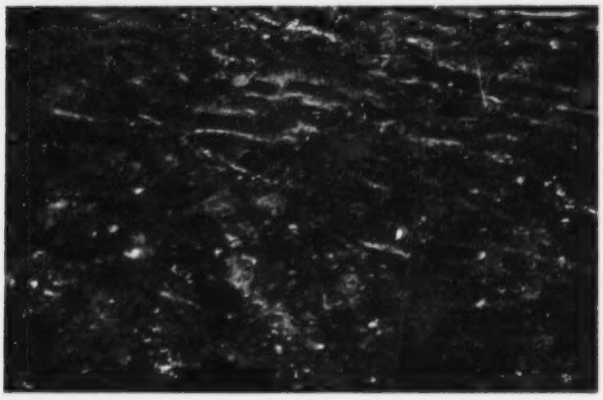


FIGURE 21 : Prolifération de la laitue de mer (*Ulva sp.*), à Casumpec (Île-du-Prince-Édouard), en 2005.

Le courant du Labrador est alimenté par l'afflux d'eau douce du Groenland, du Canada arctique et du Labrador, en plus de recevoir les eaux de l'Arctique européen. Une accélération de la fonte des glaciers du Groenland rendrait le courant du Labrador moins salé et plus fort, poussant de l'eau plus froide et des icebergs vers le sud, le long du nord-est de la plate-forme de Terre-Neuve (Institut canadien d'études climatologiques, 1999-2005; Hadley Centre, 2006). L'afflux des eaux froides du courant du Labrador peut tuer les poissons à certains endroits, comme dans la baie Smith en février 2003 (Colbourne *et al.*, 2003). Des poissons de fond comme la morue (*Gadus morhua*) souffrent d'une insuffisance rénale mortelle quand on les immerge dans une eau dont la température est inférieure à 2 °C et réagissent mal à une baisse rapide de la température (Clark et Green, 1991; Chabot et Dutil, 1999; Petersen et Steffensen, 2003; Mosaker, 2005). Le rétrécissement de l'aire de répartition de la morue en réaction au refroidissement des eaux littorales de la côte ouest du Groenland est bien documenté (p. ex., Hansen, 1949). Un renforcement du courant du Labrador augmenterait la probabilité d'occurrence de ce type de phénomènes. Une modification de l'intensité de la NAO modifierait également la température de l'eau, ce qui aurait une incidence sur les populations de poisson, en particulier de la morue (Drinkwater *et al.*, 2003).

Les changements des stocks de morues sont également liés aux populations de capelans (*Mallotus villosus*), une de leurs proies favorites. Le capelans est également une importante source de nourriture pour les oiseaux de mer (Davoren et Montevecchi, 2003; Davoren *et al.*, 2003), et l'une des espèces les plus importantes de la région de l'Atlantique sur les plans écologique et économique. Les stocks de capelans se retrouvent surtout dans la région comprise entre l'isotherme 2 °C et la limite nord du Gulf Stream (Narayanan *et al.*, 1995). Le capelan fraye aussi bien au large que dans les zones littorales et les zones de plage de Terre-Neuve, et le moment de la fraye est inversement corrélé à la température des 20 premiers mètres de la colonne d'eau de mer (Narayanan *et al.*, 1995; Carscadden et Nakashima, 1997; Carscadden *et al.*, 2000). Lorsque l'eau est plus froide, la fraye survient plus tard dans la saison. L'état de santé des stocks de capelans est donc un indicateur très important des répercussions du changement de température de l'eau (Rose, 2005). Le renforcement du courant du Labrador consécutif à la fonte des glaciers du Groenland qui l'alimentent en eau douce et froide, combiné aux vents du nord-est qui poussent ces eaux froides vers la côte, pourrait donc avoir un impact négatif sur le capelan et retarder sa période de fraye. Si la fraye est retardée jusqu'au début de la saison des ouragans, il pourrait s'ensuivre une perte de productivité.

Des changements dans l'étendue de la glace de mer et le moment où elle se forme pourraient avoir des répercussions sur les phoques et les autres mammifères marins (Sjare *et al.*, 2006). Dans plusieurs rivières et estuaires de Terre-Neuve, les phoques restent plus longtemps, jusqu'à trois mois de plus depuis les années 1990 (Lenky *et al.*, 2006). Auparavant, il n'y avait plus de phoques dans les estuaires au moment de la migration des saumoneaux. L'allongement du temps passé dans les estuaires par les phoques pourrait augmenter la prédation sur le capelan et sur le saumon. Des recherches se poursuivent pour évaluer les effets de la prédation du phoque sur les stocks de saumon (Lenky *et al.*, 2006).

Les répercussions du changement climatique sur la pêche côtière et l'aquaculture diffèrent beaucoup entre, d'une part, les Maritimes et, d'autre part, le Labrador et le nord-est de Terre-Neuve. Dans les Maritimes et le sud-ouest de Terre-Neuve, elles découlent surtout du réchauffement et de l'augmentation de la salinité en été, et de la présence d'eaux froides dans les baies du nord-est de Terre-Neuve , particulièrement en hiver. Dans les baies de Placentia et St. Mary's, à Terre-Neuve, où le Gulf Stream et le courant du Labrador interagissent de façon saisonnière, on s'attend à ce que la transition entre les conditions hivernales (dominées par le courant du Labrador) et estivales (dominées par le Gulf Stream) soit plus brutale, entraînant des répercussions fâcheuses pour les poissons (p. ex., Rose, 2005).

La plupart des espèces aquatiques marines et dulcicoles sont adaptées à une plage de températures relativement étroite. Avec des eaux plus chaudes, les salmonidés du Canada atlantique vont probablement subir un rétrécissement de leur aire de répartition ou disparaître en raison de la modification de leur habitat, de l'introduction de compétiteurs et de prédateurs, et de l'augmentation du parasitisme (Marcogliese, 2001; Schindler, 2001; El-Jabi, 2002). On a déjà noté dans certaines rivières, comme la Miramichi, au Nouveau-Brunswick, des changements importants liés à une perte de production due à des conditions inadéquates pour la croissance et la survie des juvéniles chez le saumon de l'Atlantique (Swansburg *et al.*, 2002; El-Jabi et Swansburg, 2004).

Des changements des conditions de glace sur un cours d'eau, que ce soit une augmentation ou une diminution, auraient des répercussions sur son caractère écologique global. Beltaos et Burrell (2003) ont noté les effets indésirables de l'augmentation de

l'affouillement par la glace sur les populations de salmonidés de la Miramichi. Toutefois, une diminution de cet affouillement pourrait être tout aussi dommageable. Les dépressions créées par l'affouillement et par le ballottement de la plaque de glace forment des bassins de faible énergie où se reposent les salmonidés en été. De plus, l'affouillement élimine la végétation et les sédiments organiques boueux des berges, ce qui ouvre la rive et en augmente l'accessibilité pour la faune (*voir* Johnston, 1993). Le bois flotté transporté par la glace et la crue rapide du printemps fournissent d'importants habitats aux invertébrés, qui constituent une source de nourriture vitale pour les salmonidés et favorisent la pollinisation d'espèces clés comme le bleuet (Harmon *et al.*, 1986; Lomond, 1997; Colbo *et al.*, 1999).

3.3.2 Adaptation

Les réglementations actuelles limitent les réactions possibles des pêcheurs professionnels au changement climatique et à la variation du climat. Pour leur part, les agriculteurs ont la possibilité de changer de culture ou de modifier la date de la moisson en fonction du changement climatique ou des phénomènes météorologiques. Toutefois les pêcheurs professionnels ne peuvent pas prendre une autre espèce de poisson (sans avoir d'abord obtenu le permis correspondant), ni changer la date de la pêche (hors saison), ni capturer plus de poisson que leur quota ne le permet. Le problème des crabes à carapace molle l'illustre bien : la contrainte de pêcher en saison (dates pré-établies) entre en conflit avec le moment idéal de la pêche compte tenu de l'influence du réchauffement du Gulf Stream. Bien qu'il faille conserver les permis spécifiques à l'espèce, le système de quotas et les saisons de pêche pour pouvoir gérer efficacement le secteur des pêches, il se peut que l'on doive faire des ajustements, selon les régions, pour assurer une gestion efficace en fonction de nouvelles conditions de température de l'eau et de régime de la glace de mer.

Les exploitations aquacoles sont théoriquement en mesure de réagir aux changements de climat avec plus de souplesse que les pêcheurs qui récoltent des ressources sauvages. L'adaptation serait très efficace si les exploitations aquacoles jouissaient d'assez de souplesse pour pouvoir changer d'espèce ou de période de culture.

De plus, l'adaptation sera nécessaire pour aider le secteur des pêches de l'Atlantique à faire face aux problèmes de santé et de sécurité des pêcheurs liés à l'augmentation des tempêtes, aux ondes de tempête et à l'élévation du niveau de la mer. La nécessité de naviguer plus loin en mer afin de trouver les ressources recherchées expose le bateau et l'équipage à un risque accru si les tempêtes sont plus fréquentes. Par conséquent, les entreprises de recherche et de sauvetage, en particulier la garde côtière, seront davantage sollicitées. Ce problème se trouve aggravé par la réglementation fédérale actuelle qui précise la longueur des bateaux, sans restrictions correspondantes quant à la largeur maximale et à la hauteur, ce qui fait qu'on risque de concevoir des bateaux trop lourds du haut, qui se renverseront donc plus facilement en cas de tempêtes violentes. Plusieurs provinces révisent présentement la planification et la conception des bateaux (p. ex., Centre canadien pour l'innovation dans le domaine des pêches, 2004; Newfoundland Fisheries and Aquaculture, 2006), et il vaudrait la peine de poursuivre les recherches dans ce domaine.

3.4 EAU

Les ressources en eau douce des quatre provinces de l'Atlantique représentent moins de 4 p. 100 de toute l'eau douce disponible au Canada. La région de Terre-Neuve-et-Labrador dispose de presque 90 p. 100 des ressources totales d'eau douce du Canada atlantique (Ressources naturelles Canada, 2006a, b), situées surtout au Labrador. Les plus grands bassins hydrographiques sont ceux du fleuve Churchill (79 800 km^2) et de la rivière Saint-Jean (35 500 km^2 au Canada). Les changements de la température et des précipitations influent sur l'évaporation, le ruissellement et la quantité d'eau stockée dans les glaciers, les lacs, les terres humides et les eaux souterraines (Freeze et Cherry, 1979; Jones, 1997; Hornberger *et al.*, 1998; Rivard *et al.*, 2003). Ces répercussions, à leur tour, entraînent des changements de la quantité et de la qualité de l'eau disponible pour utilisation humaine, ce qui a un impact sur les écosystèmes et l'habitat.

Ces changements des ressources hydriques peuvent avoir des conséquences de grande portée. Les réductions du débit estival des cours d'eau prévues pour le Canada atlantique pourraient influer sur le tourisme et les loisirs, la pêche en eau douce, la production hydroélectrique, l'approvisionnement en eau des municipalités et l'agriculture. Les effets ne seront pas toutefois les mêmes partout dans la région. Dans certains cas, la variabilité actuelle des précipitations annuelles et saisonnières est plus grande que les répercussions prévues du changement climatique (p. ex., Barnard et Richter, 2004).

3.4.1 Sensibilités

Eaux de surface

Selon des projections climatiques, les précipitations globales dans presque tout le Canada atlantique, à l'exception peut-être de l'ouest et du centre du Labrador, vont continuer d'augmenter (*voir* la figure 5b). Par contre, une augmentation des précipitations n'accroît pas nécessairement la quantité d'eau présente dans les rivières, les lacs et les terres humides. L'élévation de la température en été fera monter le taux d'évaporation, phénomène qui ne sera peut-être pas contrebalancé par le taux de précipitations, entraînant ainsi une baisse des niveaux d'eau. Les tendances générales du débit des cours d'eau semblent indiquer que ce dernier augmentera au Labrador, mais diminuera partout ailleurs au Canada atlantique (Milly *et al.*, 2005). On a remarqué une diminution du débit des rivières Saint-Jean et Sainte-Croix, au Nouveau-Brunswick, entre 1970 et 2000 (Bruce *et al.*, 2003).

Dans la plupart des régions du Canada atlantique, l'augmentation des précipitations constatée depuis 1948 (Lines *et al.*, 2003) n'est pas répartie également d'une saison à l'autre. La baisse des précipitations estivales observée à plusieurs endroits de Terre-Neuve (Catto et Hickman, 2004; Slaney, 2006) a contribué à l'assèchement saisonnier de cours d'eau et de terres humides, phénomène qui a eu des répercussions sur les populations de salmonidés (p. ex., Marcogliese, 2001; Schindler, 2001) et entraîné des pénuries d'eau pour usage domestique à St. John's et ailleurs à Terre-Neuve au cours des étés 1997, 2003, 2004 et 2005.

Les terres humides représentent un élément clé de l'approvisionnement en eau des systèmes fluviaux, en particulier

durant les mois secs de l'été. De plus, elles atténuent les inondations en réduisant l'apport d'eau dans les systèmes fluviaux immédiatement après une pluie abondante (Freeze et Cherry, 1979; Jones, 1997; Hornberger *et al.*, 1998). La surexploitation des terres humides, des mesures de protection inadéquates et la destruction des habitats qui y sont présents aggravent les problèmes causés par les changements survenus dans la saisonnalité des pluies (Schindler, 2001). Dans les zones urbaines, construire sur des terres humides et des plaines inondables peut contribuer à la fois à une baisse du niveau d'eau en été et à des inondations après des pluies abondantes (p. ex., Watt, 1989; Catto et St. Croix, 1998; Wohl, 2000; Catto, 2006b; Liverman *et al.*, 2006). Même dans les régions sans aménagement urbain important, le défrichement des forêts et le drainage des terres humides ont fait augmenter le risque d'inondation (p. ex., Bosch et Hewlett, 1982).

La sécheresse estivale ferait probablement diminuer les superficies de terres humides, et les effets en seraient surtout ressentis dans les régions exposées à d'autres stress. Dans les collectivités où les terres humides n'ont pas fait l'objet d'efforts de mise en valeur considérables, des baisses du taux de pluviosité en été, alors que les précipitations globales annuelles ne font qu'augmenter, n'ont pas provoqué d'assèchement général (p. ex., Slaney, 2006). Par conséquent, le maintien des terres humides est un mécanisme efficace pour réduire l'effet des variations saisonnières des précipitations sur le débit des cours d'eau.

La baisse du niveau ou du débit des rivières pourrait également altérer la qualité de l'eau potable dans certaines régions. Un bon nombre de municipalités du Canada atlantique s'approvisionnent dans des eaux de surface et sont donc exposées à la baisse du niveau des étangs et des rivières, de même qu'à la contamination de l'eau. S'il y a moins d'eau qui parvient aux usines de traitement, sa turbidité pourrait augmenter et il faudrait la traiter encore davantage (Falkingham *et al.*, 2001; Agence de santé publique du Canada, 2002; Dolgonosov et Korchagin, 2005).

Le réchauffement, l'allongement de la saison sèche en été et l'augmentation de l'intensité des pluies accroissent également le risque de contamination de l'eau potable par les parasites d'origine hydrique comme *Giardia*, *Cryptosporidium* et *E. coli* (Atherholt *et al.*, 1998; Curriero *et al.*, 2001; McMichael *et al.*, 2003; Charron *et al.*, 2004). On retrouve fréquemment des kystes de *Giardia* au Canada, même dans des échantillons d'eau traitée (Wallis *et al.*, 1996), et très souvent dans des eaux d'égout non traitées. En 2005, on a prescrit à plus de 200 collectivités de Terre-Neuve-et-Labrador de faire bouillir l'eau avant de la consommer (Newfoundland and Labrador Environmental Industries Association, 2005). On a fait de même à Charlottetown, à Moncton et à Saint John au cours des dix dernières années.

La modification de la couverture de neige aura elle aussi des répercussions sur l'approvisionnement en eau. On s'attend à une augmentation du pourcentage de précipitations tombant sous forme de pluie plutôt que de neige dans les provinces maritimes (Lines *et al.*, 2003; Lines et Pancura, 2005). Avec le ruissellement hivernal, il y aura moins d'eau dans l'arrière-pays pour réapprovisionner les tronçons inférieurs des systèmes fluviaux durant l'été (El-Jabi *et al.*, 2004). Par conséquent, une augmentation des précipitations en hiver n'augmenterait pas nécessairement la quantité d'eau dont disposent les résidents, à moins que le ruissellement d'hiver ne soit stocké dans des réservoirs.

À Terre-Neuve et sur les côtes du Labrador, les précipitations hivernales vont augmenter, en particulier durant les hivers de phase positive de la NAO. Les périodes de dégel et de pluie en hiver pourraient faire augmenter le nombre d'inondations dues aux épisodes de pluie sur neige, comme on l'a constaté à Corner Brook depuis 1950 (Catto et Hickman, 2004). Les changements prévus des précipitations n'auront pas de répercussions importantes sur les régions les plus humides de la province, y compris la côte sud-ouest et la presqu'île Avalon (Barnard et Richter, 2004), mais des études s'imposent dans les autres régions. Dans l'intérieur du Labrador, la diminution de la couverture de neige risque d'avoir des répercussions sur la production hydroélectrique, mais l'augmentation des précipitations au printemps et à l'automne contribuerait au maintien du réservoir Smallwood, ce qui réduirait l'impact sur l'ensemble du système.

Eaux souterraines

Les réserves d'eaux souterraines du Canada atlantique sont composées d'eau provenant non seulement de précipitations récentes, mais également d'eau tombée il y a des décennies, voire des siècles. Si on prélève cette eau en quantités plus grandes que celles fournies n'est remplacée par les précipitations, le niveau de la nappe phréatique baissera. Dans des puits peu profonds du Canada atlantique, on constate des baisses de la nappe après des périodes de sécheresse estivale. La nappe phréatique dans laquelle s'alimentent les puits profonds creusés dans le socle réagit généralement à des variations annuelles ou décennales des précipitations et des prélèvements.

Les régions du Canada atlantique qui dépendent le plus des eaux souterraines sont le sud de la Nouvelle-Écosse, l'est du Nouveau-Brunswick et l'Île-du-Prince-Édouard (Rivard *et al.*, 2003). Les nappes souterraines pourraient baisser à cause d'une diminution des apports d'eau provenant des précipitations saisonnières, et ce, en raison de la combinaison d'une réduction des pluies en été et d'une augmentation du ruissellement des pluies d'hiver. Des températures plus élevées et des printemps phénologiques précoces amèneraient les végétaux à pousser plus tôt dans l'année, ce qui ferait augmenter l'évapotranspiration et réduirait le taux d'alimentation des eaux souterraines.

L'Île-du-Prince-Édouard dépend presque entièrement des eaux souterraines (Rivard *et al.*, 2003; Savard, 2006). Les zones d'alimentation sur les hauteurs des terres sont adjacentes aux zones de décharge dans les terres basses. Les nappes phréatiques sont proches de la surface et les eaux souterraines épuisées après les périodes de sécheresse estivale (*voir* Government of Prince Edward Island, non daté). Dans une telle situation, les chutes de neige hivernales sont essentielles pour réalimenter les eaux souterraines. Les pénuries d'eau peuvent être aggravées par l'augmentation de la demande en eau de la ville de Charlottetown, que ce soit pour répondre à la demande du tourisme saisonnier ou aux besoins de l'agriculture. Les entreprises et les collectivités qui dépendent du tourisme pendant l'été sont particulièrement inquiètes. Durant l'été 2002, relativement sec, au moins 145 entreprises de l'Île-du-Prince-Édouard à vocation touristique ont dû s'astreindre à faire bouillir l'eau (Prince Edward Island Eco-Net, 2003), situation qui a nécessité une surveillance étroite de leur système d'approvisionnement en eau et un entretien préventif. Présentement, la baisse de la nappe phréatique due à l'irrigation touche surtout les zones situées à proximité immédiate des puits (p. ex., Somers et Mutch, 1999),

mais les ressources seront de plus en plus sollicitées par l'augmentation de la demande de la part de tous les usagers.

Dans les collectivités côtières, l'abaissement de la nappe phréatique adjacente à l'océan, conjuguée à l'élévation du niveau de la mer, permet l'infiltration d'eau de mer dans l'intérieur des terres, ce qui peut contaminer les puits et rendre l'eau impropre à la consommation. Les régions les plus exposées sont les plaines côtières, comme le sud-est du Nouveau-Brunswick et une grande partie de l'Île-du-Prince-Édouard (Scott et Suffling, 2000). Les basses terres adjacentes à la baie de Fundy, comme Wolfville, en Nouvelle-Écosse, et Moncton, au Nouveau-Brunswick, sont également exposées, car ces deux régions doivent répondre à une demande accrue d'eau douce aux fins de l'agriculture et en raison de la construction de nouvelles habitations (Boesch *et al.*, 2000).

Le prélèvement rapide d'eau souterraine dans les régions côtières peut entraîner l'infiltration d'eau salée en relativement peu de temps. À l'Anse-aux-Meadows, avec l'élévation du niveau de la mer et le passage d'environ 35 000 touristes dans le cadre des célébrations du millénaire des Vikings, de la mi-juillet à la mi-août 2000, le puits creusé au site de la reconstitution historique de Norstead a été rabattu et salinisé en l'espace d'un mois (G. Noordhof, communication personnelle, 2006). La salinisation qui se poursuit à l'Anse-aux-Meadows a forcé les exploitants-propriétaires du seul restaurant de la collectivité à creuser un nouveau puits chaque année depuis 2002, afin de pouvoir fournir leur entreprise en eau douce; la salinisation a également empêché l'établissement d'autres entreprises touristiques à l'Anse-aux-Meadows. Dans ce dernier cas, c'est l'augmentation de l'utilisation des eaux souterraines par les touristes qui a grandement accéléré la progression de la salinisation.

Inondations

Les changements de la quantité, de la nature et de la période des précipitations peuvent faire augmenter la fréquence des inondations (Clair *et al.*, 1998; Ashmore et Church, 2001). Dans le climat boréal du Canada atlantique, l'augmentation des précipitations et des changements marginaux de la température en hiver pourraient faire monter le nombre d'épisodes de pluie sur neige, au cours desquels une grande portion de cette eau s'écoule rapidement au lieu de pénétrer dans le sol. Les inondations dues aux épisodes de pluie sur neige ont déjà augmenté dans la rivière Saint-Jean (Beltaos, 1997; Catto, sous presse) et dans la région de Corner Brook (Catto et Hickman, 2004). En Nouvelle-Écosse, on compte déjà plus de 50 inondations graves survenues à la suite des épisodes de pluie sur neige depuis qu'on a commencé à tenir un registre en 1759 (*voir* Environnement Canada, 2004a), y compris les récentes inondations survenues dans les comtés de Colchester, Cumberland, Hants et Kings (p. ex., Catto, sous presse a). L'inondation de janvier 1956 a provoqué la destruction de plus de 100 ponts en Nouvelle-Écosse (Environnement Canada, 2004a). Une inondation due à la pluie sur neige a creusé un chenal de dix mètres de profondeur à travers les chutes Bishops, à Terre-Neuve, détruisant le barrage et la centrale de l'Abitibi-Price, toutes les grandes routes et de nombreuses structures, et exigeant l'évacuation de la collectivité (Ambler, 1985); ce désastre a occasionné des dépenses de plus de 34 millions de dollars (dollars de 1983). À la fin de l'hiver 2006, des épisodes de pluie sur neige ont affecté les péninsules de Burin, de Baie Verte (villages de Middle Arm, Fleur-de-Lys et Baie Verte) et le nord-est de la péninsule Avalon.

Sur la rivière Miramichi, des cimetières et des lieux historiques seront de plus en plus menacés puisque plusieurs sites historiques et petites collectivités se trouvent sur la côte. Des cimetières ont également été inondés à Appleton et Indian Bay, à Terre-Neuve (Catto et Hickman, 2004; Catto, sous presse).

Les provinces de l'Atlantique connaissent une alternance d'épisodes de froid et de temps doux tout au long de l'hiver et au début du printemps, ce qui entraîne chaque année plusieurs épisodes de gel et de débâcle des glaces sur les cours d'eau (Watt, 1989; Shabbar et Bonsal, 2003). Une couche de glace hivernale généralement plus épaisse (Clair *et al.*, 1997) combinée à des redoux irréguliers risque de favoriser des embâcles dynamiques suivis d'inondations. Les embâcles dynamiques de glace se produisent lorsque de la glace flottante bute contre un obstacle sur la rivière (Beltaos, 1983; Beltaos et Burrell, 2003). Ils se forment lorsqu'une couche de glace qui s'est consolidée au cours d'une vague de froid résiste à l'impact d'un courant très rapide. Ces dernières années, des embâcles dynamiques ont causé de graves inondations à Badger, à Terre-Neuve-et-Labrador (*voir* la figure 22; Fenco Newfoundland Limited, 1985; Picco *et al.*, 2003; Peddle, 2004), à Perth-Andover, au Nouveau-Brunswick (Beltaos et Burrell, 2003; Environnement Canada, 2004a), et le long de la rivière Miramichi, au Nouveau-Brunswick (Beltaos et Burrell, 2003). Si la tendance de ces dernières années se maintient, les débâcles et les inondations seront plus fréquentes et plus imprévisibles. Il s'ensuivra des dommages matériels, la destruction de routes et de ponts ainsi que des répercussions sur la production hydroélectrique.

Les inondations peuvent aussi être dues à des ouragans et à des tempêtes (*voir* la figure 23). Des tempêtes dans les latitudes moyennes, ont causé de graves inondations dans les collectivités du Canada atlantique, comme Stephenville et St. John's, à Terre-Neuve (p. ex., Liverman *et al.*, 2006). Des épisodes de pluie extrêmes au-dessus des réservoirs hydroélectriques peuvent provoquer des inondations si le volume de pluie dépasse la capacité des réservoirs en question. Toutes les principales agglomérations du Nouveau-Brunswick ont déjà subi des inondations de rivières.

FIGURE 22 : Inondation causée par un embâcle, à Badger, (Terre-Neuve-et-Labrador). Photo gracieuseté de Brian Hawel.

FIGURE 23 : Inondation à St. Lawrence (Terre-Neuve-et-Labrador) due à une onde de tempête de la baie Placentia provoquée en février 2004 par un vent du sud-ouest (*tiré de* Southern Gazette, Marystown, Terre-Neuve-et-Labrador).

Quelle que soit la cause de l'inondation, elle a des répercussions délétères et peut entraîner des décès ou des blessures graves. La noyade, l'hypothermie et l'électrocution figurent parmi les risques directement associés aux inondations (Environnement Canada, 2004d; Jonkman et Kelman, 2005; Santé Canada, 2005). Les eaux d'inondation sont souvent contaminées par les eaux usées, les déchets et les produits chimiques domestiques, industriels ou agricoles, exigeant le recours à des processus de nettoyage longs et coûteux, et retardant le retour dans les collectivités abandonnées (p. ex., Peddle, 2004). Les réseaux d'égouts et les usines de traitement des eaux risquent d'être submergés par un afflux soudain d'eau de crue contaminée. L'inondation des édifices par les eaux de crue favorise la prolifération de moisissures et de champignons qui, si on ne les élimine pas, risquent d'entraîner des problèmes de santé aux occupants dès leur retour (Dales *et al.*, 1991; Santé Canada, 2005). Les maladies et les parasites d'origine hydrique peuvent également se propager à la faveur de l'inondation (Curriero *et al.*, 2001; McMichael *et al.*, 2003; Charron *et al.*, 2004). Le risque d'une épidémie d'origine hydrique fait plus que doubler durant les six semaines qui suivent une pluie extrême (Thomas *et al.*, 2005). Les méthodes actuelles de traitement des eaux ne peuvent pas facilement abaisser ces risques.

Les recherches sur le changement climatique et les ressources en eau ont surtout porté sur leurs aspects physiques, mais moins sur leurs répercussions socio-économiques. Les répercussions sociales étant difficiles à quantifier, il se peut qu'on n'en ait pas tenu compte en termes de dollars dans l'évaluation du « coût total » des dommages causés par l'inondation (H. John Heinz Centre for Science, Economics and the Environment, 2000; Mitchell, 2003; Parson *et al.*, 2003), même si elles peuvent persister beaucoup plus longtemps que les répercussions physiques.

3.4.2 Adaptation

L'adaptation aux changements touchant les ressources hydriques et les inondations consiste à mettre en œuvre des pratiques exemplaires bien établies. Toutes les adaptations proposées bénéficieraient au Canada atlantique et à ses résidents, même sans changement climatique. On pourrait contrer la pénurie d'eau destinée à la consommation humaine par une combinaison de mesures de gestion, de planification et de préservation des ressources et d'utilisation des sols, et par une réduction des utilisations de l'eau qui constituent un gaspillage inutile (Bruce *et al.*, 2000). On a établi que la préservation des terres humides est un moyen d'adaptation efficace pour retenir les eaux de ruissellement, réduire les inondations au printemps et augmenter le débit des cours d'eau en été (*voir* Watt, 1989; Booth, 2000; Coote et Gregorich, 2000; Wohl, 2000). La construction de bassins de rétention pour l'entreposage de l'eau et la réduction des inondations, répandue dans de nombreuses régions de l'Ontario et de l'Ouest canadien (p. ex., Ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1999; Marsalek *et al.*, 2000; Environnement Canada, 2004d; Kuehne et Cairns, non daté), n'est pas une pratique courante au Canada atlantique. Il va falloir adapter les pratiques courantes de gestion de réservoirs afin de pouvoir s'ajuster aux changements de fréquence, d'intensité et de durée des épisodes de précipitation (*voir* Miller et Yates, 2006).

Ces dernières années, les municipalités urbaines du Canada atlantique ont été confrontées à des pénuries et à des problèmes de qualité de l'eau pendant l'été. Les municipalités ont réagi en modernisant leurs usines de traitement, en accélérant le développement de nouvelles sources d'approvisionnement en eau, en augmentant la sécurité autour des approvisionnements en eau de surface et en favorisant la conservation de l'eau par des programmes combinés d'éducation et de financement. On pourrait pousser tous ces mécanismes d'adaptation plus loin dans les années à venir.

La dépendance face aux eaux souterraines nécessite la conservation et une surveillance attentive de la qualité de l'eau, en particulier dans les zones côtières où l'infiltration d'eau salée consécutive à l'élévation du niveau de la mer est associée à une réduction des précipitations estivales. La surveillance méticuleuse des habitudes de consommation conjuguée à une évaluation des ressources s'avère une méthode d'adaptation efficace, telle que pratiquée dans la région de la rivière Baltic, dans l'Île-du-Prince-Édouard (Somers et Mutch, 1999).

Le moyen d'adaptation le plus efficace pour réduire les dommages dus à l'inondation est d'interdire les nouveaux travaux de construction dans les plaines inondables, de déplacer les structures existantes ainsi que les résidents lorsque c'est économiquement réalisable et de fournir et d'entretenir des infrastructures de drainage susceptibles de pouvoir faire face à des pluies abondantes (Catto et Hickman, 2004). Déplacer les structures et les collectivités exposées à un risque élevé s'est révélé efficace dans plusieurs régions (p. ex., Evans et Brooks, 1994; Shrubsole *et al.*, 2003; Environnement Canada, 2004d; Carter *et al.*, non daté), y compris au Canada atlantique (Peddle, 2004; Catto, 2006a). La cartographie des régions susceptibles d'être inondées est un outil important de réduction des risques associés aux inondations, si on la combine à une bonne planification de l'utilisation des terres et à un zonage efficace du territoire. Pour ce faire, il faut établir des liens de communication efficaces entre les scientifiques, les planificateurs municipaux, les dirigeants communautaires et les résidents (Berger, 2006; Leroy, 2006). La cartographie intégrée et l'évaluation de tous les risques biophysiques auxquels une collectivité est exposée (p. ex., Schmidt-Thomé *et al.*, 2006a, b) sont un point de départ efficace pour élaborer des réponses d'adaptation. Il est important également de comprendre les facteurs qui influent sur la vulnérabilité des diverses collectivités aux inondations (*voir* l'encadré 4).

ENCADRÉ 4

Facteurs de vulnérabilité d'une collectivité aux inondations

Le degré de susceptibilité ou de vulnérabilité aux inondations varie d'une collectivité à l'autre au Canada atlantique, en partie à cause de différences au niveau de la sensibilisation aux dangers et des investissements consacrés à la mise en place de mesures d'adaptation efficaces. Les principaux facteurs physiques de la vulnérabilité comprennent, entre autres, la fréquence et la gravité des inondations. Les facteurs communautaires et sociaux, comme la dynamique des populations et la démographie, l'emplacement des lotissements résidentiels et des infrastructures essentielles dans les secteurs menacés d'inondation, la valeur monétaire des propriétés, le degré de modification des voies naturelles de drainage par l'activité humaine, la résilience des voies de transport et de communication, la présence d'infrastructures qui minimisent le risque, la capacité d'atténuation, de restauration et d'adaptation ainsi que le recours à des plans d'urgence et d'aménagement déjà en place sont des éléments importants ayant une incidence sur la vulnérabilité d'une collectivité.

Les répercussions sociales peuvent être exacerbées par une mauvaise interprétation de la fréquence d'un risque donné d'inondation. On a en effet tendance à surestimer la fréquence de phénomènes entraînant des inondations qui sont moins susceptibles de se manifester (p. ex., à la suite d'un glissement de terrain qui obstrue une rivière ou d'un tsunami) et à sous-estimer les situations à probabilité plus élevée, comme les ondes de tempête, les épisodes de pluie sur neige et les embâcles dynamiques (Viscusi, 1993). Bien que certaines collectivités du Canada atlantique aient été inondées plusieurs fois dans des conditions similaires (p. ex., Liverman *et al.*, 2006), les particuliers et les collectivités peuvent ne pas prendre les précautions nécessaires, ce qui entraîne des pertes d'argent, un stress individuel et collectif, et de nouveaux préjudices physiques, financiers et psychologiques.

La vulnérabilité des collectivités dépend en partie de la répartition de la population et du nombre de groupes à risque plus élevé; ces derniers disposent généralement de moins de ressources pour les aider à faire face aux conséquences d'une catastrophe naturelle. Des études menées après de telles catastrophes au Canada, aux États-Unis et au Japon indiquent que les quartiers et les collectivités qui étaient défavorisés ou en déclin sur le plan socio-économique avant la catastrophe n'ont pas réussi à retrouver le statut socio-économique dont ils jouissaient auparavant, même une fois les efforts de reconstruction en cours (Morrow, 1999; Morrow-Jones et Morrow-Jones, 1991).

La tendance des résidents des collectivités rurales et à faible densité du Canada atlantique à demeurer longtemps en place, tissant des liens serrés entre eux, contribue à réduire leur vulnérabilité. Par contre, dans de nombreuses collectivités du Canada atlantique, l'exode, le vieillissement et la baisse progressive des ressources socio-économiques au sein de ces populations les rendent plus vulnérables non seulement aux inondations, mais également à tous les dangers, risques et changements.

3.5 FORESTERIE

3.5.1 Sensibilités

Au Canada atlantique, l'élévation aussi bien de la température durant la saison de croissance que du taux de CO_2 ne se soldera pas nécessairement par une productivité accrue de l'écosystème (Flannigan *et al.*, 2000). Par exemple, dans le cas de l'épinette noire (*Picea mariana*), l'espèce dominante dans la forêt boréale du Labrador, la productivité nette de l'écosystème forestier augmentera probablement avec le réchauffement du printemps. Néanmoins, des températures élevées en été la feront probablement baisser à cause de l'augmentation des taux d'évapotranspiration.

La diminution des précipitations l'été (Lines *et al.*, 2003) et l'élévation des températures augmentent la possibilité de perturbation par la sécheresse au Canada atlantique (McCurdy et Stewart, 2003). Les arbres à enracinement superficiel, comme la pruche et l'épinette, seront beaucoup plus sensibles à la sécheresse que ceux enracinés plus profondément (Dale *et al.*, 2001).

Si les épisodes de sécheresse se font plus fréquents, la probabilité d'incendies de forêt augmente de façon importante et la saison des feux s'en trouve prolongée. L'analyse de données paléo-écologiques et des modélisations se basant sur des scénarios établis à partir du modèle de circulation générale (MCG) semblent indiquer une baisse du risque de feux de forêt dans l'est de l'Ontario et au Québec, mais une augmentation au Canada atlantique, y compris à Terre-Neuve et dans la plus grande partie du Labrador (Flannigan *et al.*, 2001). La modification des caractéristiques propres aux feux de forêt pourrait mener à une altération considérable des forêts de l'intérieur en changeant le cycle des éléments nutritifs. Les feux de forêt ont également des répercussions sur la santé des résidents locaux, car la fumée et les particules qu'ils entraînent aggravent les maladies respiratoires (University of Washington, 2001; McMichael *et al.*, 2003; University of British Columbia Okanagan, 2005; Moore *et al.*, 2006).

Les incendies de forêt se sont très rarement manifestés dans les écosystèmes forestiers qui subissent l'influence de la mer, les perturbations y étant surtout causées par les vents et les tempêtes (*voir* la figure 24; Wein et Moore, 1979; Runkle, 1985; Seymour, 1992; Foster *et al.*, 1998). L'augmentation de la force et de la fréquence des tempêtes de vent et des orages menace les forêts. La vitesse du vent est le facteur déterminant de l'ampleur des dommages causés aux arbres (*voir* la figure 25). Ce sont les gros arbres qui risquent le plus d'être déracinés par le vent (McCurdy et Stewart, 2003), tout comme les peuplements récemment touchés par un incendie (Flannigan *et al.*, 2000). Les dommages causés aux peuplements d'arbres augmentent la probabilité de contamination par des agents pathogènes et de mortalité des arbres (Ayers et Lombardero, 2000).

Le changement climatique entraîne aussi un risque d'augmentation de la fréquence des tempêtes de verglas (Dale *et al.*, 2001). Ces tempêtes, comme celle qui a touché le Nouveau-Brunswick en 1998 (Ressources naturelles Canada, 2003b) et les monts Cobequid, en Nouvelle-Écosse, en 2002 (Nova Scotia Department of Environment and Labour, 2003), peuvent briser quelques branches ou détruire un peuplement entier. Par ailleurs, la probabilité d'incendies de forêt augmente lorsqu'une période de sécheresse suit une tempête de verglas (Irland, 2000). Des épisodes fréquents de dégel hivernal et de gel printanier tardif causent aussi des problèmes, surtout aux espèces sensibles au froid comme le bouleau jaune (Cox et Arp, 2001; Bourque *et al.*, 2005; Campbell *et al.*, 2005).

Les variations de l'abondance des insectes, des agents pathogènes et des herbivores sont les phénomènes qui risquent le plus d'avoir des effets défavorables sur les forêts (Gray, 2005). Dans un climat plus

FIGURE 24 : Conifères dont la mort a été provoquée par le vent et l'érosion côtière à Red Point (Île-du-Prince-Édouard).

FIGURE 25 : Dommages cumulatifs causés par abattis et charge de glace, à Middle Cove (Terre-Neuve-et-Labrador).

chaud, on s'attend à ce que les insectes et les pathogènes migrent vers le nord (Gray, 2005) et résistent aux hivers, eux aussi plus chauds. Étant donné que ces espèces vivent relativement peu de temps, une augmentation du nombre de générations par saison leur permettra de s'adapter plus rapidement aux changements climatiques (Gray, 2005). Il y aura donc davantage d'insectes et d'agents pathogènes qui viendront perturber les écosystèmes forestiers, situation qui entraînera des changements dans les cycles des éléments nutritifs et dans la composition en espèces des forêts qui, à leur tour, pourront mener à une modification importante des associations de sol propres aux peuplements (Ayres et Lombardero, 2000). Toutefois, il se pourrait aussi que, dans certaines régions, les flambées d'agents pathogènes diminuent si le nouveau climat favorise une augmentation de l'abondance des prédateurs ou des espèces concurrentes (McCurdy et Stewart, 2003).

Les espèces envahissantes bénéficieront probablement elles aussi d'un changement de climat principalement en raison de leurs stratégies de reproduction rapide qui leur permettent de se propager rapidement (Simberloff, 2000). Les espèces envahissantes peuvent altérer les cycles des éléments nutritifs des forêtse et, par conséquent, les cycles de succession et le régime des feux. L'activité accrue des herbivores et des prédateurs peut causer la disparition régionale d'espèces par hybridation avec des espèces indigènes et mener à une hausse de la mortalité consécutive à l'introduction de maladies exotiques (Dale *et al.*, 2001).

Le changement climatique et la grande diversité des perturbations qui l'accompagneront auront des répercussions considérables sur la variation génétique des forêts. Cette dernière, qui constitue la base de la santé des forêts, prendra de plus en plus d'importance à mesure que le climat évoluera (Mosseler *et al.*, 2003b).

3.5.2 Adaptation

La migration des essences en réaction au changement climatique exige du temps et il y a un grand décalage entre la création d'un climat approprié et l'établissement d'une forêt. Étant donné la durée de vie des essences, les options d'adaptation du secteur forestier peuvent être limitées à court terme. L'adaptation pourrait bénéficier de l'adoption de stratégies de gestion visant à améliorer la capacité des forêts à faire face à des conditions climatiques en évolution et au besoin de s'ajuster à la croissance dans des emplacements ayant préalablement été touchés (Beaulieu et Rainville, 2005). L'amélioration et la préservation de la variabilité génétique (p. ex., pendant la récolte et les travaux de reboisement) sont des préoccupations de toute première importance puisque cette dernière accroît la capacité d'un peuplement forestier à survivre à des infestations d'agents pathogènes ou d'insectes, conséquence importante si on veut conserver le couvert forestier actuel (Ayres et Lombardero, 2000).

3.6 AGRICULTURE

L'agriculture dans la région de l'Atlantique est un secteur diversifié et très intégré qui représente 4 p. 100 des exploitations agricoles canadiennes et utilise 2 p. 100 des terres agricoles du Canada (Statistique Canada, 2001a). En 1999, l'industrie agroalimentaire y représentait un peu plus de 2 p. 100 (Terre-Neuve) à plus de 12 p. 100 (Île-du-Prince-Édouard) du PIB provincial (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2005). Le Canada atlantique produit 45 p. 100 des pommes de terre, 39 p. 100 des baies et des raisins et 4,3 p. 100 du lait du pays (Statistique Canada, 2001a). La transformation des produits agroalimentaires occupe encore une place importante dans l'activité économique de toute la région (Hauer *et al.*, 2002), soit plus de 50 p. 100 de l'activité économique totale du secteur (Krakar et Longtin, 2005).

L'agriculture dépend énormément des conditions climatiques. Pour pousser, les cultures ont besoin d'une période suffisamment longue de température favorable et de pluie tombant au moment opportun.

Dans le cas de l'élevage, ce sont les conditions climatiques qui déterminent si les animaux seront menés au pâturage et combien de temps ils y resteront, de même que les dépenses associées à l'entretien d'abris adéquats. Au Canada atlantique, le changement climatique prévu présente à la fois des avantages et des risques (Wall *et al.*, 2004). Au chapitre des avantages, on compte la possibilité de cultiver des espèces de plus grande valeur si la saison de croissance se prolonge. Du côté des risques, il faut envisager l'augmentation de la fréquence des phénomènes extrêmes, des changements dans la nature des ravageurs et des maladies, et l'incertitude des marchés internationaux.

3.6.1 Sensibilités

Une augmentation de la variabilité du climat et de la fréquence des phénomènes extrêmes pourrait avoir un effet défavorable sur le secteur agricole. Un seul phénomène extrême (gel tardif, sécheresse prolongée, excès de pluie durant la saison des récoltes) peut éliminer tout avantage découlant de l'amélioration des conditions « moyennes ». Les scénarios de changement climatique prévoient une augmentation de la variabilité du climat, y compris une augmentation de la fréquence des jours chauds durant la saison de croissance, des vagues de chaleur, du nombre de jours froids, des gels de fin de printemps et de début d'automne, du nombre de jours secs consécutifs et des épisodes de précipitations abondantes (Lines *et al.*, 2003; Lines et Pancura, 2005). Ces situations peuvent toutes avoir des répercussions considérables sur la production agricole. Une saison de croissance plus chaude et plus humide pourrait augmenter la production de fourrage, mais des hivers plus chauds entraîneraient une plus grande mortalité en hiver, annulant du même coup cet avantage (Bélanger *et al.*, 2001). De même, si les étés plus chauds permettent de cultiver une plus grande variété de raisins et de fruits, des phénomènes extrêmes plus nombreux au printemps et à l'automne pourraient avoir des conséquences fâcheuses sur la productivité. Les arbres fruitiers, que l'on ne peut déplacer qu'avec difficulté, sont plus susceptibles d'être endommagés que les cultures, ces dernières pouvant être replantées les saisons suivantes. La capacité de réagir à des phénomènes extrêmes est liée au statut économique général du secteur (*voir* l'encadré 5) de même qu'à la pertinence des programmes conçus pour faire face au risque économique, comme la stabilisation du revenu et l'assurance-récolte.

Les phénomènes climatiques extrêmes peuvent également augmenter les répercussions des activités d'exploitation agricole sur l'environnement (Coote et Gregorich, 2000; De Kimpe, 2002). Les principaux problèmes environnementaux liés à l'agriculture dans les provinces de l'Atlantique ont trait à la qualité de l'eau et du sol, et, à un degré moindre, à la qualité de l'air. Les producteurs des provinces de l'Atlantique reconnaissent l'importance de ces répercussions, ayant reconnu la pollution de l'eau (52 p. 100) et l'érosion des sols (47 p. 100) comme étant les impacts environnementaux les plus importants touchant l'agriculture (Aubin *et al.*, 2003). Au cours de la dernière décennie, on a assisté à des efforts de mise en œuvre de pratiques de gestion qui réduisent au minimum les répercussions sur l'environnement, comme l'amélioration de la rotation des cultures, des mesures de conservation des sols et un usage plus efficace des éléments nutritifs. Dans bien des régions du Canada atlantique, la gestion du fumier est le sujet de préoccupation le plus important (p. ex., dans le comté de Kings, en Nouvelle-Écosse), alors qu'ailleurs les préoccupations portent surtout sur les pratiques d'intensification de la production, impliquant l'érosion des sols et la présence de pesticides dans les eaux de ruissellement dues à la culture intensive de la pomme de terre pour ne citer qu'un exemple (Milburn *et al.*, 1995). La qualité de l'eau est un sujet particulièrement préoccupant à l'Île-du-Prince-Édouard, où les eaux souterraines sont la seule source d'eau potable. Les inondations augmentent les répercussions possibles dues à l'agriculture sur les eaux de surface et les eaux souterraines.

Une importante limite de l'agriculture dans la région est la profondeur des terres agricoles et leur fertilité. Les sols sont pour la plupart relativement fragiles, et un bon nombre de terres agricoles sont aujourd'hui détériorées en raison de l'érosion, de la compaction et de la perte de matière organique dues à des rotations de cultures moins diversifiées et plus courtes, et à la réduction du couvert de résidus de culture (*voir* la figure 26). Les sols de l'Île-du-Prince-Édouard et du Nouveau-Brunswick sont les plus intensément exploités, avec respectivement 67 p. 100 et 38 p. 100

ENCADRÉ 5

Capacité d'adaptation du secteur agricole dans les provinces de l'Atlantique

Plusieurs facteurs influent sur la capacité d'adaptation du secteur agricole au Canada atlantique, dont l'état économique actuel de l'agriculture, le profil démographique des producteurs, la santé des collectivités rurales et l'aptitude à offrir de nouvelles technologies (Wall *et al.*, 2004).

Les producteurs agricoles du Canada atlantique avaient en moyenne 53 ans en 2003. En tout, 43 p. 100 d'entre eux détenaient un diplôme d'études postsecondaires (la proportion la plus élevée au Canada), et 36 p. 100 avaient l'intention de prendre leur retraite d'ici 2008 (Aubin *et al.*, 2003). La plupart des exploitations agricoles des provinces de l'Atlantique ont un seul propriétaire (55 p. 100). Seulement 28 p. 100 des exploitants ont l'intention d'agrandir leur propriété dans les années à venir, soit la proportion la plus faible au Canada (Aubin *et al.*, 2003). Le profil démographique du secteur agricole des provinces de l'Atlantique constitue à la fois un terrain favorable et un risque en termes de réaction au changement climatique. La possibilité de recruter de nouveaux candidats en agriculture, très instruits, améliorerait la capacité du secteur à s'adapter. Mais, en raison du climat économique actuel, peu de jeunes choisissent l'agriculture. Cette tendance n'est pas nouvelle : depuis 1981, le nombre d'exploitations agricoles a diminué de 27 p. 100 au Canada atlantique (Statistique Canada, 2001a), soit la plus importante diminution au Canada. Le secteur de l'agriculture de la région de l'Atlantique est donc très vulnérable à cet égard.

Ce secteur est également sur le plan du soutien institutionnel, notamment en ce qui a trait aux programmes de développement agricole et aux programmes de sélection. Le nombre d'inscriptions aux facultés d'agriculture n'a cessé de diminuer dans tout le pays depuis dix ans. En réaction, bon nombre d'écoles d'agriculture se sont transformées en centres d'études environnementales, et on forme moins de scientifiques dans le domaine de l'agriculture. Cette diminution se reflétera sur la capacité de générer et de diffuser l'information nécessaire à toute tentative de modification des pratiques de gestion en vue de permettre l'adaptation au changement climatique, phénomène qui aura pour effet d'accroître encore plus la vulnérabilité du secteur.

des terres agricoles qui étaient cultivées en 2001 (Statistique Canada, 2001a). La Nouvelle-Écosse et Terre-Neuve ont des proportions moins élevées de terres en culture (29 p. 100 et 21 p. 100 respectivement), et on y a davantage recours à des systèmes de couverture végétale permanente, comme les pâturages et la production de foin. À Terre-Neuve, la quantité de terres arables disponibles est une contrainte importante à l'implantation de mesures d'adaptation au changement climatique. Maintenir la productivité des sols tout en prévenant l'augmentation des effets défavorables sur le milieu environnant sera un élément important à prendre en considération dans ces efforts d'adaptation (Coote et Gregorich, 2000).

Il sera important aussi de connaître l'ampleur des changements de la température et des précipitations durant la saison de croissance (*voir* la section 2.1) afin de déterminer comment le secteur agricole pourra s'adapter. Bootsma *et al.* (2005a, b) ont examiné les répercussions éventuelles des changements prévus au terme de la première génération du Modèle couplé canadien de circulation générale (MCCG1, Boer *et al.*, 2000) dans le cadre du scénario d'émissions IS92a. En émettant l'hypothèse d'une augmentation des degrés-jours de croissance effectifs et d'une diminution des déficits hydriques (que l'on définit comme un excédent du taux d'évapotranspiration par rapport au taux de précipitations) au cours de la saison de croissance dans une grande partie de la région, pour la période s'étendant de 2040 à 2069, Bootsma *et al.* (2005a, b) en arrivent à la conclusion que le recours à la rotation maïs-soja-céréale, telle que pratiquée présentement dans le sud de l'Ontario, pourrait donner les meilleurs résultats. Ces résultats pourraient faire doubler le revenu tiré de ces terres par rapport à leur affectation actuelle. Dans cette analyse, les auteurs ne recommandent pas d'adopter la rotation maïs-soja-céréale, mais présentent simplement un exemple des conséquences possibles du changement climatique sur la production agricole. L'étude insiste également sur le fait que, dans une même région, la réaction d'adaptation variera d'un endroit à un autre en raison des différences du climat local.

a)

b)

FIGURE 26 : a) Production intensive de la pomme de terre, à Mill River (Île-du-Prince-Édouard) et b) gestion des cultures, y compris la culture du foin, à Arlington (Nouvelle-Écosse).

Un climat plus chaud et plus humide permettra de cultiver des variétés et des produits qui exigent une saison plus longue et un nombre d'unités thermiques plus élevé pour croître. Dans les conditions actuelles du marché, il en résulterait une production accrue de cultures commerciales comme le maïs et le soja, et l'exploitation d'autres arbres fruitiers. De nouvelles occasions de marché, comme la possibilité de produire les matières premières nécessaires à la production de biocarburants (p. ex., éthanol et biodiesel) ou une demande accrue d'aliments organiques, influeront sur les choix de cultures.

Le changement climatique aura également des répercussions sur les populations de ravageurs et de leurs prédateurs (Coakley *et al.*, 1999). Les conditions plus chaudes et plus humides prévues pour le Canada atlantique tendront à favoriser une diversification des ravageurs (Rosenzweig *et al.*, 2000). L'interaction complexe entre les ravageurs des cultures, leurs prédateurs et la croissance des végétaux rend difficile toute prédiction des répercussions possibles du changement climatique. Le taux de changement de la taille des populations de ravageurs et leur diversité demeurent d'importantes lacunes sur le plan des connaissances dans le milieu agricole. Il faut beaucoup de temps pour mettre au point et adopter des mesures de lutte contre ces espèces nuisibles, en particulier si les nouveaux agents chimiques conçus à cette fin doivent être homologués (Coakley *et al.*, 1999). En raison du fait que le marché agricole n'est pas très grand au Canada atlantique, les coûts de mise au point et d'homologation de nouveaux produits peuvent être considérés comme non rentables. En outre, l'élaboration et la diffusion d'agents de lutte biologique contre les espèces nuisibles et de nouvelles pratiques culturales visant à les éliminer dans la production biologique ne se font pas rapidement.

Tout comme dans le cas des cultures, les répercussions du changement climatique sur le secteur de l'élevage sont multiples; il s'agit entre autres d'une augmentation des coûts de production qui découlent de l'accroissement de la demande d'énergie pour climatiser les bâtiments d'élevage. En outre, les conditions climatiques influent de façon importante sur les maladies animales et leur propagation.

Les abeilles ont une grande valeur économique en agriculture au Canada atlantique en tant que pollinisateurs. L'apifaune, déjà sujette aux espèces envahissantes, au parasitisme et aux maladies, subira probablement des répercussions fâcheuses à cause du changement climatique (Richards et Kevan, 2002).

3.6.2 Adaptation

L'adaptation au changement climatique dans le secteur de l'agriculture au Canada atlantique exigera de revoir les systèmes de culture, y compris le choix des variétés et les pratiques de gestion des sols. Le choix des cultures est régi par de nombreux facteurs de nature agronomique, économique, environnementale, sociale et culturelle. Les analyses se sont généralement limitées jusqu'à maintenant aux facteurs économiques et, à un moindre degré, aux facteurs agronomiques. Par exemple, Bootsma *et al.* (2005b) n'ont pas évalué l'éventail des systèmes de culture qui pourraient convenir au climat prévu, si les sols de la région étaient en mesure de supporter les changements proposés sur le plan des pratiques de culture, la relation avec les marchés existants, ni l'adéquation des connaissances et des infrastructures agronomiques actuelles. Tous ces facteurs influeront pourtant sur les décisions d'adaptation éventuelles.

Il est également important d'évaluer les répercussions possibles des nouveaux systèmes de culture proposés. Un climat plus chaud et plus humide permettrait certes d'adopter des systèmes de culture plus intensifs (Bootsma *et al.*, 2005b), mais cette transition augmenterait probablement les répercussions sur l'eau en raison de l'augmentation de l'érosion et du lessivage des sols qui en résulterait. L'intégration des productions animales et végétales constitue un autre facteur important. Un des problèmes actuels dans certaines régions est la concentration de la production animale sur un territoire limité. Les nouveaux systèmes de culture pourraient fournir une solution à ce problème.

L'augmentation de la demande de produits biologiques et leur production dans la région (Webb, 2002; Connell et Morton, 2003) pourraient également mener à l'adoption de nouvelles pratiques de culture. Bien qu'aucun effet du changement climatique ne touche plus spécifiquement les systèmes de production biologiques, la forte dépendance de ces derniers vis-à-vis des légumineuses et leur recours aux pratiques culturales dans la lutte contre les ravageurs pourraient en rendre la gestion particulièrement difficile dans un climat en évolution.

Les cultures vivaces, comme les baies, le raisin et les arbres fruitiers, occupent une place importante dans l'économie de la région. Des étés plus chauds et plus humides pourraient permettre d'en cultiver d'autres espèces et variétés, mais les hivers plus doux pourraient également endommager davantage ces nouvelles cultures (Bélanger *et al.*, 2001).

L'adaptation nécessitera probablement aussi une meilleure gestion de l'eau utilisée pour l'agriculture. On pourrait y parvenir en améliorant, d'une part, les mesures de drainage et de lutte contre l'érosion conçues en fonction de l'évacuation rapide des champs de l'eau apportée par les précipitations abondantes et, d'autre part, les mesures de gestion et de stockage de l'eau destinée à l'irrigation en période de sécheresse, aussi bien à l'échelle de l'exploitation agricole qu'à celle de la région. Autre considération tout aussi importante, on pourrait envisager de restaurer et de maintenir les terres humides qui serviraient à traiter l'eau des champs cultivés en réduisant l'écoulement vers les cours d'eau et en retenant les éléments nutritifs et les sédiments.

3.7 TRANSPORTS

Dans les provinces de l'Atlantique, les transports contribuent de façon considérable au PIB canadien, mais surtout provincial (*voir* le tableau 2), et à l'économie de l'Atlantique par habitant (*voir* le tableau 3). Les répercussions sur les transports influeront directement sur d'autres secteurs, comme la fabrication, le tourisme, la croissance urbaine, l'approvisionnement et le commerce. En revanche, les changements survenant dans les autres secteurs influeront sur la demande de transports (Yevdokimov, 2003). Un climat plus chaud caractérisé par divers changements dans le régime des précipitations aura ainsi des répercussions directes et indirectes sur le secteur des transports (Burkett, 2003). Les transports sont liés à de nombreuses activités socio-économiques (Zimmerman et Cusker, 2001; Transports Canada, 2003; Yevdokimov, 2003).

3.7.1 Sensibilités

Transport routier

Le transport routier est de loin la principale composante du secteur des transports au Canada atlantique. Dans un nouveau climat, le réseau routier sera touché par les épisodes de chaleur ou de froid extrêmes, l'augmentation des cycles de gel-dégel et la réduction de la couche de glace. L'augmentation du nombre de journées chaudes, déjà constatée à l'intérieur du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse, entraînera probablement le ramollissement du revêtement (Mills et Andrey, 2003). Les dommages causés aux routes par la chaleur élevée et l'augmentation des soulèvements dus au gel exposent les régions touchées à souffrir d'interruptions des approvisionnements et des services.

Dans de nombreuses collectivités côtières, l'élévation du niveau de la mer exigera de déplacer les routes situées en bordure de la mer ou

TABLEAU 2 : Contribution du transport commercial au PIB provincial dans le Canada atlantique en 2001 (*tiré de* Statistique Canada, 2004, tableau 379-0025).

Provinces	Dépenses (en millions de dollars)	Pourcentage du PIB canadien total	Pourcentage du PIB provincial total
Terre-Neuve-et-Labrador	448,7	1,1	3,5
Île-du-Prince-Édouard	74,4	0,2	2,4
Nouvelle-Écosse	1 015,0	2,4	4,3
Nouveau-Brunswick	1 011,6	2,4	5,4

TABLEAU 3 : Dépenses personnelles pour les transports par province en 2001 (*tiré de* Statistique Canada, 2004, tableau 379-0025).

Provinces	Dépenses (en millions de dollars)	Dollars par habitant	Pourcentage des dépenses personnelles provinciales totales	Pourcentage des dépenses personnelles canadiennes totales pour le transport	Pourcentage de la demande intérieure provinciale finale
Terre-Neuve-et-Labrador	1 452	2 801	15,2	1,4	7,9
Île-du-Prince-Édouard	372	2 711	14,2	0,4	8,1
Nouvelle-Écosse	2 720	2 711	14,2	0,4	8,1
Nouveau-Brunswick	2 240	2 982	15,8	2,2	9,1
Canada	103 131	3 257	15,0	100	8,9

d'en reconstruire à des endroits plus élevés afin d'éliminer ou de réduire le risque d'inondation. Dans certaines régions qui subissent une érosion des côtes, on a déjà déplacé des routes, qu'il faudra déplacer de nouveau. Par exemple, l'autoroute 117 de Bouctouche à Saint-Édouard, au Nouveau-Brunswick, a été déplacée deux fois au cours des 30 dernières années (Arsenault, communication personnelle), 2004. Dans le sud du Nouveau-Brunswick et le nord-ouest de la Nouvelle-Écosse, des digues acadiennes ont réduit l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur les routes en protégeant les terres de l'érosion et de l'inondation. Cependant, elles ont été construites il y a plus de cent ans, et les frais d'entretien pourraient en faire une mesure d'adaptation coûteuse (Shaw *et al.*, 1998). Les dommages causés aux routes par les tempêtes sont également une source de préoccupation (*voir* la figure 27).

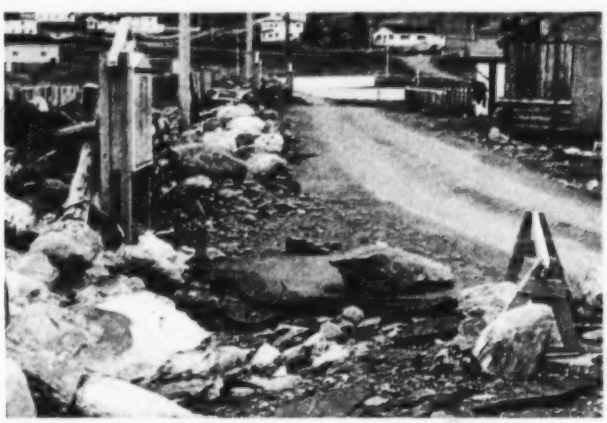


FIGURE 27 : Route endommagée par une onde de tempête en avril 2004, à Ferryland (Terre-Neuve-et-Labrador).

Transport maritime

Dans les provinces de l'Atlantique, le transport par bateau se fait surtout par cabotage, sur de courtes distances dans les eaux côtières, et sans entrer en haute mer. En outre, le secteur inclut les ports de pêche, les ports pour petits bateaux et les traversiers (Pêches et Océans Canada, 2006). Les ports de plaisance prennent actuellement de l'ampleur dans toute la région. Les services de traversier, assurés par *Marine Atlantic Inc.*, *Bay Ferries* et *Northumberland Ferries*, occupent une place importante dans l'économie. En 2004, 419 548 passagers et 223 044 véhicules ont fait la traversée entre Terre-Neuve-et-Labrador et la Nouvelle-Écosse (Transports Canada, 2004). De même, la circulation des bateaux de croisière internationale augmente au Canada atlantique. En 2004, Halifax a accueilli 212 000 passagers (Halifax Port Authority, 2006), et Saint John, 138 622 (Administration portuaire de Saint John, 2005). Les bateaux de croisière sont considérés comme un élément important de l'économie, et on a entrepris de creuser les ports afin de pouvoir accueillir de plus grands navires à Charlottetown, dans l'Île-du-Prince-Édouard, et à St. John's, à Terre-Neuve.

Peu de travaux ont tenté d'évaluer les sensibilités du système de transport maritime, en particulier des voies navigables. Catto *et al.* (2006) ont étudié les effets des vents de tempête et des ondes de tempête sur le transport routier et maritime à Channel-Port-aux-Basques (Terre-Neuve-et-Labrador), et ils en sont arrivés à la conclusion que les vents d'est de plus en plus forts représentent un danger. Les retards des services de traversier de la *Marine Atlantic Inc.* dus au mauvais temps ont entraîné des pertes économiques de plus de cinq millions de dollars en 2004 (Catto *et al.*, 2006). La construction de nouveaux quais devra tenir compte de l'élévation du niveau de la mer et des épisodes de tempêtes, et il faudrait surélever les quais pour en éviter l'inondation (Mills et Andrey, 2003). Bien qu'il ne soit pas toujours recommandé d'installer des brise-lames lors de la construction de nouveaux quais, parce qu'ils risquent de déranger les courants, l'augmentation de l'activité cyclonique pourrait inciter à recourir à ces structures pour en réduire les répercussions et pour limiter les dommages aux infrastructures (McLean *et al.*, 2001).

Bon nombre des navires présentement en service ont été construits au cours des 30 dernières années et continueront sans doute de naviguer encore longtemps. Les plus gros de ces navires pourraient certes faire face aux changements de conditions météorologiques en mer mais, beaucoup d'entre eux devront être modernisés (Green *et al.*, 2004).

Avec des hivers plus chauds et une période sans glace plus longue, le transport en hiver, au printemps et à l'automne pourrait être plus facile (Easterling, 2002; Langevin, 2003), permettant ainsi son

accroissement dans certaines régions. On observe déjà ce phénomène dans le nord des provinces de l'Atlantique, par exemple sur la côte du Labrador, où la saison de navigation est maintenant plus longue. À mesure que la couverture de glace d'hiver rétrécira, la navigation maritime deviendra probablement de plus en plus importante pour le transport de biens et de services vers les régions du nord (Goos et Wall, 1994).

L'augmentation de la fréquence des tempêtes et des phénomènes extrêmes aura pour conséquence que l'on fera davantage appel aux services d'intervention en cas d'urgence assurés par la garde côtière canadienne (Burkett, 2003). Le raccourcissement des hivers et la diminution de la glace de mer, en particulier dans des régions comme le détroit de Northumberland, pourraient donner naissance à de nouveaux types d'urgences, y compris celles provoquées par la poussée des glaces. Il faut pouvoir déterminer avec précision l'emplacement des blocs de glace pour éviter l'augmentation du nombre d'incidents. Tous les aspects du transport maritime et de la sécurité en mer dépendent de l'accès à des informations en temps réel et à une gestion intégrée.

Transport ferroviaire

Les impacts du changement climatique sur le transport ferroviaire au Canada atlantique, de même que la capacité d'adaptation du secteur, n'ont fait l'objet que de très peu de recherches. Au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse, les chemins de fer jouent pourtant un rôle important. Le facteur le plus inquiétant demeure le risque de perturbations à l'endroit du lien de communication crucial traversant l'isthme de Chignecto (marais de Tantramar) sous l'effet d'inondations causées par des ondes de tempête ou de la destruction ou de l'endommagement éventuels des digues acadiennes (Forbes *et al.*, 1998; Shaw *et al.*, 1998). Il faudrait donc continuellement revoir les plans de gestion afin de s'assurer qu'ils tiennent compte de l'élévation du niveau de la mer. Le transport ferroviaire dans les Maritimes est également exposé aux changements survenant sur la scène des marchés et du commerce (Nederveen *et al.*, 2003). Son relatif manque de souplesse pour ce qui est des trajets et des horaires, et la nécessité de transférer la marchandise dans des camions aux gares répartitrices en font un secteur difficile à modifier.

Transport aérien

Les problèmes causés par le givrage et le brouillard sont les principaux effets du climat dans les aéroports du Canada atlantique. Les changements de la nébulosité et des températures hivernales pourraient avoir des répercussions sur le dégivrage des avions. Les inondations et les tempêtes pourraient influer sur les activités aéroportuaires de Stephenville, à Terre-Neuve-et-Labrador. Les aéroports d'Halifax, en Nouvelle-Écosse, de Saint John, au Nouveau-Brunswick, et de St. John's, à Terre-Neuve-et-Labrador, pourraient enregistrer davantage de retards et de fermetures en raison des tempêtes. L'augmentation du gel raccourcirait la durée de vie des pistes d'atterrissage asphaltées. Les conséquences sociales et économiques pourraient être importantes pour les collectivités qui, surtout en hiver, dépendent du transport aérien pour tout, depuis l'approvisionnement en nourriture jusqu'aux services médicaux.

3.7.2 Adaptation

Les investissements et les décisions en matière de transport ont généralement lieu à l'échelle provinciale (en plus de quelques règlements fédéraux et d'investissements privés). Un bon point de départ est d'identifier les établissements ou endroits clés qui risquent de subir les conséquences du changement climatique, comme les quais et les aérogares, de même que les stations-service (Potter, 2003). On recommande également d'évaluer la résistance des infrastructures aux tempêtes et aux phénomènes extrêmes, et de déterminer les mesures en cas d'urgence et les ressources requises pour réagir aux phénomènes extrêmes (Transports Canada, 2003).

Avec une plus grande fréquence des cycles de gel-dégel durant l'hiver, il faudra modifier les méthodes d'entretien des routes et avoir recours à l'utilisation du sel pour réduire les dommages aux revêtements et améliorer la sécurité. Durant les vagues de chaleur et de froid extrêmes, les routes tendent à être endommagées par les changements de température, rendant ainsi la conduite dangereuse. Pour l'instant, on ne dispose que de peu de moyens d'adaptation à cet égard. La sécurité routière demeurera donc une priorité.

Les principaux projets de transport devront tenir compte du changement climatique (Almusallam, 2001; Burkett, 2003). Comme les véhicules et les infrastructures ont une courte durée de vie (moins de 25 ans dans la plupart des cas), il faudra mettre en place des changements qui, grâce à des améliorations dans la conception, en rendraient le remplacement moins coûteux (Mills et Andrey, 2003). Les ponts, dont la durée de vie prévue est plus longue, devront être examinés à la lumière de l'élévation constante du niveau de la mer et d'une augmentation de la fréquence des débordements de cours d'eau. De nouvelles structures devraient être installées à l'extérieur des zones d'impact touchées par l'élévation du niveau de la mer (Zimmerman et Cusker, 2001).

3.8 ÉNERGIE

3.8.1 Sensibilités

Pour le Canada atlantique, les problèmes énergétiques prioritaires liés à l'adaptation au changement climatique sont l'augmentation de l'offre et de la demande, de même que des répercussions sur l'exploration, la production et le transport, et sur d'autres infrastructures. Par rapport aux autres secteurs, les répercussions du changement climatique sur le secteur de l'énergie au Canada atlantique n'ont fait l'objet que de très peu de recherches (Bell et McKenzie, 2004). Pour l'instant, les prévisions de charge relatives à l'électricité ne tiennent pas compte du changement climatique et ne sont pas calculées jusqu'à 2020 (H. Booker, Market Advisory Committee, Nouveau-Brunswick, communication personnelle, 28 novembre 2005). En termes de production d'électricité, les provinces de l'Atlantique diffèrent beaucoup les unes des autres dans le type d'énergie utilisé (*voir* le tableau 4). C'est ainsi qu'à Terre-Neuve-et-Labrador, 97 p. 100 de l'électricité produite (2002) est de l'hydroélectricité, tandis que l'électricité au Nouveau-Brunswick provient du charbon, du pétrole, de l'énergie nucléaire et de l'hydroélectricité. L'Île-du-Prince-Édouard dépend presque entièrement de l'électricité qu'elle achète au Nouveau-Brunswick, mais elle en produit aussi une petite quantité à partir de l'énergie

éolienne et du pétrole; la Nouvelle-Écosse, pour sa part, dépend surtout de l'électricité produite à partir du charbon et du pétrole (*voir* le tableau 4).

Au Canada atlantique, la demande d'électricité atteint son maximum actuellement en hiver. L'élévation des températures entraînera une baisse de la demande d'énergie pour le chauffage en hiver, mais une augmentation de la demande d'électricité aux fins de climatisation et de réfrigération en été. Cette modification de la demande marquera ainsi le passage de l'utilisation directe de combustibles fossiles aux fins de chauffage à l'utilisation de l'électricité aux fins de climatisation. En réponse à une hausse de la demande en électricité dans le nord-est des États-Unis (Ressources naturelles Canada, 2003a; Energy Information Administration, 2005), un accroissement des exportations d'énergie pourrait s'imposer.

Les infrastructures énergétiques sont sensibles aux effets des phénomènes météorologiques extrêmes, comme on l'a constaté lors des tempêtes de 2004, dont les dommages causés aux lignes électriques ont coûté 12,6 millions de dollars en Nouvelle-Écosse et 4 millions de dollars au Nouveau-Brunswick (Bell et McKenzie, 2004). Les phénomènes météorologiques, tels que les tempêtes, peuvent entraîner des problèmes de production et de transport, suivis de pannes d'électricité, comme ce fut le cas en Nouvelle-Écosse en 2006, au Nouveau-Brunswick en 2002 et à Terre-Neuve en 1984 (Catto, sous presse a).

L'hydroélectricité est une méthode de production d'électricité importante à Terre-Neuve-et-Labrador. Des modifications à long terme des précipitations annuelles et saisonnières auraient des répercussions sur la capacité de production en général, bienque les systèmes de production électrique nantis de barrages et de réservoirs seront probablement en mesure de s'y adapter (*voir* St. George, 2006). L'augmentation des pluies n'accroît pas nécessairement la quantité d'eau dans les rivières et les lacs en raison de l'augmentation concomitante du taux d'évapotranspiration qu'entraînent des températures plus élevées. La réduction du débit des cours d'eau (Bruce *et al.*, 2003) aura probablement des répercussions sur la production au cours des étés secs, mais une augmentation des précipitations au printemps et à l'automne permettra de maintenir le niveau des réservoirs, de façon à en atténuer l'impact global.

L'énergie éolienne est la source d'énergie renouvelable qui progresse le plus rapidement au Canada atlantique (*voir* la figure 28). Les atlas éoliens révèlent la présence de ressources éoliennes à l'Île-du-Prince-Édouard (Gasset *et al.*, sous presse) et en Nouvelle-Écosse (Nova Scotia Wind Energy Project, 2004). Terre-Neuve ne compte pour l'instant aucun parc éolien, mais le gouvernement de cette province a lancé un appel d'offres pour une centrale de 25 MW (*voir* Association canadienne de l'énergie éolienne, 2006a) et des entreprises privées ont proposé plus de dix endroits pour l'érection d'éoliennes dans la province. D'ici le milieu du siècle, les vents d'été pourraient bien avoir diminué de 10 p. 100 dans les provinces de l'Atlantique, mais on ne s'attend à aucun changement pour ce qui est des vents d'hiver (Price *et al.*, 2001). Le verglas représente une menace pour les éoliennes, que l'on pourrait devoir arrêter temporairement en vue de prévenir les dommages (American Wind Energy Association, 2003). Toutefois, les répercussions de l'accumulation de glace sur les pales des turbines semblent limitées (Association canadienne de l'énergie éolienne, 2006b; Australian Wind Energy Association, 2006).

L'exploration et la production pétrolières en mer sont sensibles aux changements survenant dans les régimes de tempêtes, de la glace de mer et des icebergs. La réduction de la glace de mer dans la région de l'Atlantique (Drinkwater *et al.*, 1999; Hill et Clarke, 1999; Hill *et al.*, 2002) permettrait d'accroître les activités d'exploitation au large, mais la grande variabilité de son étendue pourrait rendre difficiles la prévision et la réponse aux phénomènes météorologiques extrêmes, comme on a pu le constater lors de l'incident survenu au large de l'île de Sable au printemps 2004, lorsque la glace de mer a forcé l'abandon temporaire mais très coûteux de la plate-forme de la Canadian Superior (Bell et McKenzie, 2004). Les infrastructures énergétiques côtières, comme les centrales électriques (Pointe Lepreau et Coleson Cove, au Nouveau-Brunswick, Lingan/Aconi, en Nouvelle-Écosse, Holyrood, à Terre-Neuve-et-Labrador), les raffineries (Saint-John, au Nouveau-Brunswick, Dartmouth, en Nouvelle-Écosse, Come-By-Chance, à Terre-Neuve-et-Labrador), les projets de terminal de gaz naturel liquéfié (Saint-John, au Nouveau-Brunswick, Bear Head et Goldboro, en Nouvelle-Écosse), et les endroits où les pipelines du large touchent terre (Goldboro, en Nouvelle-Écosse), peuvent être vulnérables aux répercussions d'une élévation du niveau de la mer, des ondes de tempête et de l'érosion des côtes.

3.8.2 Adaptation

L'adaptation du secteur de l'énergie au changement climatique dans les provinces de l'Atlantique exigera de revoir les normes de conception des infrastructures de transport et de distribution afin

TABLEAU 4 : Production d'électricité par type de combustible dans les provinces de l'Atlantique, établie à partir de l'électricité produite par chaque province (*extrait modifié tiré de* Bell et McKenzie, 2004).

Province	Charbon (p. 100)	Pétrole (p. 100)	Gaz naturel (p. 100)	Nucléaire (p. 100)	Hydroélectricité (p. 100)	Autres (p. 100)	Production totale, provinces de l'Atlantique (2002)
Nouveau-Brunswick	32	29	0	20	15	4	24,00
Terre-Neuve-et-Labrador	0	3	0	0	97	0	59,62
Nouvelle-Écosse	66	23	0	0	9	2	16,35
Île-du-Prince-Édouard	0	10	0	0	0	90	00,03
Total	**18**	**13**	**0**	**5**	**63**	**1**	**100,00**

FIGURE 28 : Parc éolien expérimental, à North Cape (Île-du-Prince-Édouard).

qu'elles puissent mieux résister aux phénomènes météorologiques extrêmes. Il faudra également prévoir les changements de la demande (selon la saison et selon la source de combustible), planifier en fonction de l'éventualité de phénomènes extrêmes et tirer profit des nouvelles occasions favorables. La conservation de l'énergie, l'augmentation de la fiabilité du réseau grâce à la diversification et la modélisation des ressources que sont le vent, le soleil et la biomasse sont des mesures d'adaptation éventuelles du type dit « sans regrets ».

3.9 TOURISME

3.9.1 Sensibilités

Le tourisme est présentement le plus grand secteur économique de l'Île-du-Prince-Édouard (Government of Prince Edward Island, 2004) et constitue un volet important de l'économie des quatre provinces de l'Atlantique. La durabilité économique de la plupart des collectivités du littoral de l'Atlantique dépend beaucoup du tourisme, qui est considéré comme un élément clé de la revitalisation économique de collectivités jusque-là tributaires de la pêche. L'activité économique a d'ailleurs récemment augmenté de façon notable en été dans certaines collectivités rurales.

L'état de l'environnement joue un rôle important en ce qui concerne les choix faits par les touristes potentiels, en particulier lorsque le milieu naturel s'avère le principal attrait (Braun *et al.*, 1999; Scott et Suffling, 2000). À mesure que le changement climatique touche le Canada atlantique, le tourisme, dans ces provinces, pourrait en subir des conséquences à la fois favorables et défavorables (DeBaie *et al.*, 2006). Il faut donc tenir compte à la fois des répercussions du changement climatique sur le tourisme et de l'impact des touristes sur l'environnement.

Un niveau de la mer plus haut, une érosion accrue des côtes, des plages plus étroites et au sable plus grossier, de même que des tempêtes plus fréquentes, voilà autant de facteurs qui ont des répercussions fâcheuses sur le tourisme dans les régions côtières (Mimura, 1999; Uyarra *et al.* 2005). Les dommages causés aux infrastructures sont un problème supplémentaire. L'aménagement du littoral et la construction d'une infrastructure protectrice contraindraient la migration des plages et des dunes vers l'intérieur. L'énergie des vagues s'exercerait sur des zones de plus en plus petites, favorisant ainsi surtout l'élimination du sable; en conséquence, les plages se rétréciraient et seraient composées de particules plus grossières. Là où l'apport en sable est déjà restreint, il en résulterait la formation de plages de galets, moins attrayantes pour les touristes. Ces changements auraient d'importantes répercussions économiques sur les collectivités dont la durabilité repose sur le tourisme (Cambers, 1999; Fish *et al.*, 2005; Uyarra *et al.*, 2005).

Les stress géomorphologiques induits par le changement climatique, combinés à l'augmentation du nombre de visiteurs, à l'allongement de la saison touristique et à l'utilisation accrue des zones côtières par les touristes, ont accéléré le taux d'érosion des sites touristiques côtiers de la région et pourraient avoir des répercussions sur la viabilité à long terme du tourisme côtier (Daigle *et al.*, 2006). Une augmentation du nombre de piétons et de véhicules qui circulent sur les plages et les dunes (*voir* la figure 29) a également contribué à cette érosion (p. ex., Catto 2002, 2006a, b; Catto *et al.*, 2002). Les parcs provinciaux et nationaux sont également vulnérables à l'élévation du niveau de la mer et aux ondes de tempête.

L'observation des icebergs est devenue une activité prisée des touristes le long des côtes de Terre-Neuve. Depuis le milieu des années 1990 à 2003, le nombre d'icebergs a augmenté avec le vêlage au Groenland (Petersen, 2005), ce qui pose des problèmes aux entreprises pétrolières, mais attire les touristes. Le nombre d'icebergs et l'observation des icebergs ont diminué sur la côte nord-est de Terre-Neuve de 2004 à 2006, phénomène qui a inquiété les entreprises touristiques de la région (p. ex., G. Noordhof, l'Anse-aux-Meadows, communication personnelle, 2006). Le nombre d'icebergs est directement lié à l'activité glaciaire du Groenland et à la température de l'eau dans la mer du Labrador (*voir* Institut canadien d'études climatologiques, 1999-2005; Hadley Centre, 2006).

Les changements en matière de la persistance et de répartition de la neige en hiver auront des répercussions sur les activités de loisir de cette saison, comme la motoneige ou le ski de fond (Abegg *et al.*, 1998; Harrison *et al.*, 2001; Scott *et al.*, 2003). Dans l'est de l'Amérique du Nord, le changement climatique réduirait, d'ici aux années 2020, le nombre de jours où il est possible de faire de la motoneige, de 38 p. 100 à 62 p. 100, comparativement aux années 1970 (McBoyle *et al.*, 2006). D'ici à 2050, on prévoit que la saison de la motoneige durera moins d'une semaine à Sydney et à Gander, et de 0 à 20 jours à Fredericton (McBoyle *et al.*, 2006). Les ventes de motoneige ont diminué de 38,4 p. 100 au Canada et aux États-Unis entre 1997 et 2005, et celles de VTT ont monté d'autant. Les fabricants se sont adaptés en augmentant la production de VTT, et les usagers potentiels achètent un VTT en tant que véhicule tout-terrain et toutes-saisons.

a)

b)

FIGURE 29 : Une circulation excessive de touristes favorise l'érosion : a) d'une dune côtière, à Malpeque (Île-du-Prince-Édouard) et b) dans la Réserve écologique de Cape St. Mary's (Terre-Neuve-et-Labrador).

3.9.2 Adaptation

Au Canada atlantique, la promotion du tourisme est de plus en plus axée sur l'allongement des saisons et la variété des activités, et elle s'adresse à un public diversifié. Les visiteurs sont à la recherche d'activités culturelles, historiques et récréatives. Leurs préférences sont influencées par la mode, le coût du transport et le sentiment de sécurité; un événement unique peut donc avoir des répercussions disproportionnées, imprévues et durables.

Les entrepreneurs et les promoteurs du secteur touristique, y compris les divers paliers de gouvernement, peuvent adapter les campagnes publicitaires aux conditions. Certains aspects du tourisme au Canada atlantique, dont les étés plus longs, sont des répercussions favorables du changement climatique. À mesure que les étés se réchauffent plus rapidement au centre de l'Amérique du Nord et en Europe de l'Ouest, les étés relativement frais du Canada atlantique sont de plus en plus perçus par les touristes comme un milieu intéressant pour des vacances ou une résidence d'été.

Il faudrait procéder à une évaluation complète des stress induits par les activités touristiques sur les sites côtiers en vue de connaître le risque d'érosion et de modification des sédiments des plages, et ce, avant qu'on assiste à une importante dégradation. Des sites touristiques importants, comme le parc provincial Panmure Island, à l'Île-du-Prince-Édouard, et la dune de Bouctouche, au Nouveau-Brunswick, sont présentement menacés d'érosion côtière, et il faudrait ériger des ouvrages pour les protéger. Il est possible d'intégrer le tourisme dans la conception des ouvrages de protection des côtes. Par exemple, des préoccupations d'ordre esthétique peuvent influer sur la conception des ouvrages de protection du littoral (comme dans le parc Victoria, à Charlottetown, dans l'Île-du-Prince-Édouard) et les structures peuvent se concevoir de manière à servir également de sentiers pédestres (comme à Summerside, dans l'Île-du-Prince-Édouard, et à Trout River, à Terre-Neuve-et-Labrador).

Dans le parc national de l'Île-du-Prince-Édouard, les ondes de tempête ont nécessité de nombreuses réparations. La tempête de l'hiver 2004, survenue alors qu'il n'y avait encore aucune couverture de glace, a gravement endommagé les infrastructures. À titre de mesure d'adaptation, on a retiré des abris du terrain de camping. On s'est servi de pierres armées pour protéger certaines sections de route et des ponts. On a également dû procéder à de nombreuses réparations de routes, de promenades et d'autres infrastructures. Dans le parc national Kouchibouguac, certaines structures ont été consolidées, surélevées, déplacées ou enlevées après la saison, en réaction aux tempêtes ou en vue d'en prévenir les dommages. On procède constamment à de tels travaux depuis la création du parc.

3.10 COLLECTIVITÉS

3.10.1 Sensibilités

Les répercussions de l'élévation du niveau de la mer, les modifications des régimes de vagues, les ondes de tempête, les changements de la gravité et de la fréquence des tempêtes, et des modifications de la durée de la couverture de glace auront tous des impacts sur les collectivités du Canada atlantique (McLean *et al.*, 2001; Thompson *et al.*, 2005; Catto *et al.*, 2006). Les inondations et les ouragans qui ont récemment endommagé des propriétés et des infrastructures, causé des blessures et entraîné des décès, de même que la difficulté d'accès aux services médicaux d'urgence et les pannes de courant, témoignent de la vulnérabilité des collectivités de la région de l'Atlantique aux conditions climatiques.

Selon leur situation géographique (à l'intérieur des terres ou sur les côtes), les collectivités de la région de l'Atlantique subiraient divers effets, répondant à divers degrés de sensibilité et de vulnérabilité. Les collectivités côtières, comme Annapolis Royal et Halifax, doivent faire face aux ondes de tempête (*voir* les encadrés 6 et 7). En contraste, celles de l'intérieur sont plus vulnérables aux changements de la température et des précipitations, qui influent sur l'approvisionnement en eau, les inondations, l'agriculture et les forêts. On remarque qu'il existe une distinction entre les collectivités rurales et urbaines, quoique les différences concernent

davantage leur capacité d'adaptation respective. Dans toutes les collectivités, les influences du climat se superposent à d'autres facteurs, de nature politique, socio-économique et technologique, qui ont tous un effet sur la vulnérabilité (*voir* les encadrés 4 et 5).

Les collectivités rurales du Canada atlantique, dans bien des cas, font face à des difficultés économiques dues à leur dépendance à une seule ressource naturelle. Or, le changement climatique, en menaçant des ressources comme les espèces marines ou les produits agricoles, risque d'empirer la situation dans nombre de ces collectivités. On ne devrait donc pas considérer le changement climatique comme un facteur dominant et indépendant, mais comme faisant partie d'un ensemble de plusieurs facteurs exerçant des stress sur la pêche, l'agriculture et les collectivités agricoles. L'interaction de nombreux facteurs de stress augmente considérablement la vulnérabilité des collectivités rurales de tout le Canada atlantique qui dépendent d'une seule ressource.

Des effets sociaux ou relatifs à la santé accompagneront les effets directs du changement climatique dans des secteurs comme le tourisme, l'agriculture et la pêche (Brklacich *et al.*, 2007). Une perte de revenu ou d'emploi peut entraîner des troubles mentaux ou des maladies mentales liés au stress (Sowder, 1985; Santé Canada, 2005). Les phénomènes météorologiques extrêmes et les dangers naturels qui les accompagnent peuvent amener les gens à devoir se déplacer et à séjourner dans des abris surpeuplés, ce qui augmente le risque d'épidémies. Les résidents subissent également le stress lié à de telles situations, ce qui peut mener à divers troubles mentaux, dont la dépression induite par des pertes financières, des blessures et la nécessité de déménager. (Abrahams *et al.*, 1976; Noji, 1997; Greenough *et al.*, 2001; Soskolne et Broemling, 2002; Soskolne, 2004). Ces effets psychologiques persistent souvent plusieurs années après la catastrophe (Bennet, 1970; Powell et Penick, 1983; Sowder, 1985).

Pour les collectivités de l'intérieur, les risques pour la santé découlent de la contamination des eaux souterraines et des eaux de surface par les fortes précipitations, car le ruissellement en surface peut polluer les sources d'approvisionnement en eau en y

ENCADRÉ 6

Annapolis Royal : carte d'une onde de tempête et de l'inondation du littoral

L'étude d'une onde de marée par le groupe de citoyens Clean Annapolis River Project (CARP) est un parfait exemple de projet qui a augmenté la capacité d'adaptation d'une collectivité face au changement climatique (Belbin et Clyburn, 1998).

La ville d'Annapolis Royal, située à l'extrémité ouest de la vallée de l'Annapolis, sur la côte nord-ouest de la Nouvelle-Écosse, craignait l'inondation durant les marées de périgée printanières et les phénomènes météorologiques extrêmes. Annapolis Royal risque l'inondation, car la région se trouve en grande partie en dessous du niveau de la mer, sur laquelle, au XVII[e] siècle, les colons acadiens avaient gagné en construisant des digues. En outre, la terre s'est enfoncée avec le temps. Des routes, des ponts et des édifices ont d'ailleurs déjà été inondés, mettant ainsi la ville en péril.

Toutes les données recueillies pour ce projet ont été obtenues de sources existantes. Les registres historiques sur des phénomènes extrêmes du passé ont été tirés de musées, de journaux et de sociétés historiques de la région. Le coup de vent dit « Saxby Gale » des 4 et 5 octobre 1869 a servi de modèle pour les prévisions du niveau de la mer.

Il n'y a que quelques centimètres de différence entre une inondation désastreuse et une tempête sans conséquence. Des cartes avec des contours de niveau de 2 m et des points cotés de 0,1 m ont permis de déterminer les endroits les plus exposés au flux de l'onde de marée et les régions les plus menacées par l'inondation. Ces cartes révèlent des situations particulièrement inquiétantes, dont le fait que le service d'incendie est situé sur une petite hauteur. Durant l'inondation, ce service se retrouverait sur une île, isolé de la collectivité. À la suite de cette étude, on a réparti l'équipement de secours d'urgence un peu partout dans la ville; auparavant, on gardait tout au service d'incendie. Ce dernier s'est également doté d'un bateau afin de pouvoir transporter le personnel et l'équipement, et offrir l'accès à la terre ferme en cas d'inondation.

L'organisation des mesures d'urgence (OMU) a commencé à surveiller de près le comportement et les hauteurs des marées de la région. Cette surveillance se fait maintenant à l'échelle de la province, parce qu'on s'est rendu compte que le risque ne se limite pas à la région d'Annapolis.

Ce projet a donné naissance à une autre initiative importante, la simulation d'un scénario de catastrophe. Annapolis Royal a simulé toutes les étapes de son intervention d'urgence. Maintenant, la ville connaît les étapes à suivre pour mieux prévenir les dommages ou les blessures en cas de véritable catastrophe. Dans le cadre d'une simulation sur papier, on a évacué une partie de la ville en réponse à un scénario d'onde de tempête élaboré à l'échelle du comté. L'OMU a mis en œuvre de nouveaux mécanismes visant à intégrer parfaitement les services. Les résultats de l'étude de cas d'Annapolis Royal servent présentement à élaborer une trousse d'outils à l'intention des planificateurs de l'utilisation des terres (Parks, 2006).

Cette étude de cas révèle que les petites collectivités sont aptes à prendre elles-mêmes en main leurs mesures de préparation aux impacts du changement climatique. En déterminant les dégâts que pourrait causer un phénomène météorologique extrême, la ville a pu adopter des mesures préventives susceptibles de réduire le risque d'importantes pertes économiques attribuables à une inondation.

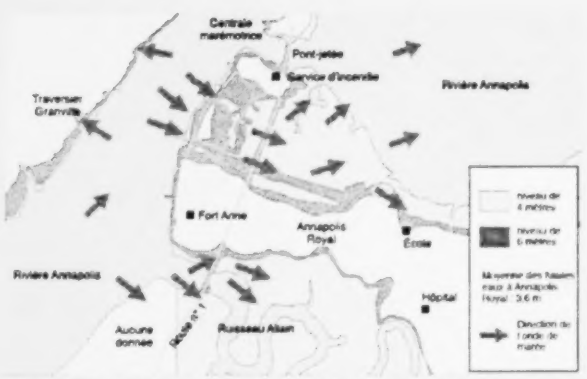


FIGURE 30 : Carte du risque d'inondation pour Annapolis Royal, en Nouvelle-Écosse (*tiré de* Belbin et Clyburn, 1998).

entraînant des pesticides ou des déchets animaux. Les épisodes de précipitations extrêmes peuvent également surcharger les usines de traitement de l'eau ou faire déborder les systèmes d'égout, ce qui ajoute au risque de contamination (ministère de la Santé du Nouveau-Brunswick, 2005; Santé Canada, 2005). Une augmentation des épisodes de fortes précipitations aura également des répercussions sur les égouts pluviaux. Leur sensibilité dépend de la nature de l'infrastructure et de l'abondance des précipitations (Watt *et al.*, 2003). Des enquêtes menées auprès de certaines collectivités urbaines du Nouveau-Brunswick ont révélé que la gestion des égouts pluviaux ne tient pas compte des augmentations prévues, bien que quelques collectivités fassent preuve de prévoyance en y intégrant un facteur d'incertitude (p. ex., 20 p. 100 à Moncton, au Nouveau-Brunswick).

Le Canada atlantique est reconnu comme l'une des quatre régions du Canada où la pollution de l'air est la plus importante, surtout à case du transport atmosphérique en provenance des États-Unis (Labelle, 1998). L'ozone est le polluant atmosphérique le plus courant; la concentration nationale d'ozone troposphérique a augmenté de 16 p. 100 entre 1990 et 2003 (Statistique Canada, 2005c). Une augmentation des vagues de chaleur, combinée à la pollution de l'air augmenterait la fréquence des épisodes de smog dans les régions urbaines et, donc, des problèmes de santé qui les accompagnent, comme l'asthme et d'autres maladies respiratoires, de même que le stress dû à la chaleur et les maladies qui en découlent (McMichael *et al.*, 2003; Epstein et Rogers, 2004; Santé Canada, 2005). Le changement climatique pourrait aggraver les répercussions des vagues de chaleur, des journées de smog et des particules en suspension libérées par les feux de forêt. On s'attend à ce qu'augmente le nombre de maladies et de décès qui en découlent, en particulier dans les régions urbaines où la dégradation de la qualité de l'air empire les maladies cardiovasculaires et respiratoires (McMichael *et al.*, 2003; Santé Canada, 2005).

Au Canada, on a diagnostiqué de l'asthme chez 12 p. 100 des gens âgés de moins de 12 ans et chez 8 p. 100 des gens âgés de plus de 12 ans (Statistique Canada, 2005c), et le nombre d'adultes qui en souffrent est passé de 2,3 p. 100 en 1979 à 6,1 p. 100 en 1994 (Santé Canada, 1998). C'est au Canada atlantique que l'on retrouve certains des plus hauts taux d'asthme du pays (Agence de santé publique du Canada, 1998; Conseil canadien de développement social, 2006). Les vagues de chaleur et les épisodes de smog peuvent également augmenter le risque d'accident vasculaire cérébral, puisque certaines études ont révélé un lien entre, d'une part, les accidents vasculaires cérébraux et les maladies respiratoires et, d'autre part, les changements environnementaux (Epstein et Rogers, 2004). Par exemple, une corrélation positive existe entre l'augmentation des taux de particules en suspension (polluants atmosphériques) et l'augmentation des cas d'infarctus du myocarde et d'infections respiratoires exigeant l'hospitalisation ou causant la mort (Dominici *et al.*, 2006; Murakami et Ono, 2006). De même, certains auteurs soulignent l'accroissement possible, lié à une augmentation de CO_2, d'allergènes qui ont également des répercussions sur le système respiratoire (Epstein et Rogers, 2004).

3.10.2 Adaptation

Bien qu'on ait beaucoup discuté de la capacité des diverses collectivités à réagir aux changements environnementaux (Pelling et High, 2005), moins de recherches ont porté sur l'acquisition de la capacité d'adaptation des collectivités (Smit et Pilifosova, 2003; Brklacich *et al.*, 2007). Toutefois, des particuliers, des groupes et des gouvernements municipaux du Canada atlantique ont déjà entrepris des efforts d'adaptation, surtout sous la forme de mesures de protection des côtes.

Les collectivités rurales et urbaines du Canada atlantique présentent de grandes différences quant à leur profil démographique, de même qu'à leur résilience et leur vigueur économiques. C'est pourquoi leurs capacités d'adaptation, et donc leur vulnérabilité, varient beaucoup d'une collectivité à l'autre. Les centres urbains disposent habituellement de plus grandes ressources financières, institutionnelles et humaines pour faire face aux difficultés, y compris au changement climatique. Les collectivités rurales n'ont pas les moyens d'appliquer le genre de mesures d'adaptation adoptées par la municipalité régionale d'Halifax.

Les administrations locales participent activement aux efforts d'adaptation. À la suite de dommages causés par des tempêtes, des sécheresses et des invasions d'insectes exotiques, la municipalité régionale d'Halifax a mis en œuvre une planification durable qui comprend un plan d'adaptation au changement climatique. Le programme Climate SMART collabore avec le secteur privé pour prendre en considération les mesures de réduction des gaz à effet de serre et d'adaptation au changement climatique dans le processus de prise de décisions. La construction d'une usine de traitement des eaux usées, conçue en fonction d'une élévation de 3 m du niveau de la mer, et celle d'une usine de production combinée de chaleur et d'énergie électrique pour les hôpitaux et les universités sont deux projets inspirés par le projet Climate SMART (*voir* l'encadré 7). La localité de Rexton, au Nouveau-Brunswick, offre un autre exemple d'adaptation à l'échelle municipale. Cette collectivité a été touchée par les marées et les ondes de tempête sur la rivière Richibucto, qui ont entraîné de l'érosion et des inondations. Depuis plusieurs décennies, Rexton a pris les mesures nécessaires pour protéger activement des portions de rivage importantes sur les plans historique et culturel.

Bon nombre de collectivités demandent de l'aide à leur gouvernement provincial pour la protection de leurs côtes, et toutes les provinces commencent à réagir aux répercussions du changement climatique. Le comité spécial de l'Île-du-Prince-Édouard sur le changement climatique a présenté, en avril 2005, son rapport final, aux termes duquel il recommande des mesures de protection des zones côtières (Special Committee on Climate Change, 2005). Le rapport fait également état de la suppression des permis de carrière pour les plages et d'une révision des mesures en cas d'urgence. Le gouvernement de la Nouvelle-Écosse a publié en 2005 (Government of Nova Scotia, 2005) un document intitulé *Adapting to a Changing Climate in Nova Scotia : Vulnerability Assessment and Adaptation Options* (Adaptation au changement climatique en Nouvelle-Écosse : évaluation de la vulnérabilité et mesures d'adaptation). En Nouvelle-Écosse, on s'efforce également de déterminer la sensibilité de diverses zones côtières (Nova Scotia Government of Energy, 2001), mais le rapport ne fait guère mention de mesures d'adaptation. À Terre-Neuve-et-Labrador, on a publié en juin 2005 un plan d'action comprenant des mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), de même que des mesures d'adaptation (Government of Newfoundland and Labrador, 2005).

Bon nombre de discussions avec des groupes du Nouveau-Brunswick ont porté sur des questions de gouvernance, en particulier dans les régions rurales. Ces dernières se sont regroupées en districts de services locaux, et un comité local de représentants non élus présente au gouvernement provincial des recommandations sur leurs besoins. Un bon nombre de particuliers sont d'avis que ce mécanisme ne donne pas beaucoup de pouvoir aux collectivités et que leurs demandes relatives aux mesures d'adaptation propres à leur région se confondent avec les demandes provenant des autres districts de services locaux (Martin et Chouinard, 2005). En l'absence d'autres mécanismes, les résidents de la collectivité de Pointe-du-Chêne ont pris l'initiative d'intervenir après de récentes ondes de tempête. Un comité spécial a organisé un abri d'urgence et participe à des discussions avec différents paliers du gouvernement en vue de rechercher des solutions à long terme pour résoudre le problème causé par les inondations dues aux ondes de tempête.

L'augmentation de l'activité des ouragans que l'on constate actuellement dans l'Atlantique Nord, semble indiquer qu'il faudrait améliorer la préparation en cas d'urgence et les mesures d'adaptation (Goldenberg *et al.*, 2001). À titre de mesure préventive, l'Organisation des mesures d'urgence a adopté une nouvelle campagne de sensibilisation qui vise à aider les citoyens de l'Île-du-Prince-Édouard à mieux se préparer aux effets des ouragans. Dans le même esprit, le Centre canadien de prévision d'ouragan a accru ses efforts pour sensibiliser la population aux avertissements d'ouragans (Environnement Canada, 2004c).

Un des principaux obstacles à la mise en œuvre des mesures d'adaptation demeure la vision à court terme des promoteurs et des fonctionnaires par rapport aux répercussions à long terme du changement climatique (Fédération canadienne des municipalités, 2002). Le manque de ressources constitue également un obstacle majeur auquel font face les particuliers et les collectivités dans la mise en œuvre de mesures d'adaptation (Fédération canadienne des municipalités, 2002). La construction de structures de protection coûte cher et, dans certains cas, elle a fait naître des conflits entre les résidents, certains n'étant pas en mesure de contribuer à des structures jugées nécessaires par d'autres; en effet, les structures sont plus efficaces si elles ne présentent pas d'interruption sur un littoral donné.

On aura besoin de connaissances accrues sur le changement climatique à tous les niveaux de prise de décisions. De cette façon, les collectivités pourront mieux s'adapter, réduisant ainsi leur taux de vulnérabilité au changement climatique. À cet effet, de plus en plus, on lie les collectivités à des projets de recherche de manière à leur permettre d'être consultées et de mieux comprendre les impacts possibles du changement climatique (p. ex., Vasseur *et al.*, 2006). Un moyen très efficace d'y parvenir est d'intégrer les répercussions du changement climatique et les questions d'adaptation dans le processus d'évaluation de l'impact environnemental.

ENCADRÉ 7

Réduction de la vulnérabilité au changement climatique à l'aide du projet Climate SMART

La municipalité régionale d'Halifax (MRH) occupe une superficie de plus de 5 000 km² et compte plus de 350 000 habitants; on y trouve un aéroport et un port maritime ainsi que des centres commerciaux, éducatifs, scientifiques et technologiques desservant la région.

Ces dernières années, Halifax a subi un certain nombre de phénomènes météorologiques extrêmes et une augmentation des répercussions, des dommages et des coûts associés. L'ouragan Juan, de force 2 (septembre 2003), a touché terre à l'extérieur d'Halifax et poursuivi sa course à travers le centre de la Nouvelle-Écosse, causant des dommages importants aux propriétés, aux infrastructures et à l'environnement. Quelques mois plus tard, en février 2004, une violente tempête de neige, qu'on appellera par la suite « Juan blanc », a déversé plus de 90 cm de neige sur la MRH en une seule journée. Le déneigement et les réparations des infrastructures des services municipaux ont occasionné une dépense de cinq millions de dollars qui n'avait pas été prévue au budget. De tels phénomènes ont coûté à la MRH, à ses entreprises et à ses citoyens des millions de dollars, la perte de plusieurs vies, des dérangements de services et de grands inconvénients. Ils ont également attiré l'attention sur les répercussions potentielles du changement climatique et fait monter les craintes à ce sujet.

Avant Climate SMART, la MRH ne disposait d'aucune stratégie de planification face au changement climatique. Consciente de l'augmentation des risques attribuables au changement climatique pour les infrastructures, les propriétés et les citoyens, et plus particulièrement de l'augmentation prévue de la fréquence et de l'intensité des phénomènes climatiques extrêmes, la MRH s'est mise à la recherche d'un mécanisme de planification et de mise en œuvre de stratégies à cet effet.

Elle a élaboré le projet Climate SMART (Sustainable Mitigation and Adaptation Risk Toolkit /trousse d'outils pour l'atténuation et l'adaptation durables face aux risques), conçu en vue d'intégrer les mesures d'atténuation et d'adaptation au processus de planification et de prise de décisions municipal. Il s'agit d'un partenariat des secteurs public et privé. Les partenaires du projet prototype de la MRH sont la Fédération canadienne des municipalités, Ressources naturelles Canada, Environnement Canada, le ministère de l'Énergie de la Nouvelle-Écosse, le ministère de l'Environnement et du Travail de la Nouvelle-Écosse, l'Association des industries de l'environnement de la Nouvelle-Écosse, les membres de ClimAdapt, plusieurs groupes communautaires et entreprises locales et la MRH.

Climate SMART est le premier projet canadien à préconiser une approche pleinement intégrée d'échelle municipale face au changement climatique. La MRH et ses partenaires ont officiellement lancé le projet Climate SMART en mars 2004. Les principales tâches de Climate SMART, le projet prototype de la MRH, sont d'élaborer :

- des évaluations de la vulnérabilité et des analyses de durabilité;
- des évaluations des coûts par rapport aux avantages;
- des outils de gestion et d'atténuation des émissions;
- un plan de gestion du risque associé au changement climatique;
- une méthode de gestion des émissions et des mesures d'adaptation qui prévoit des méthodologies pour chaque secteur de la collectivité;
- des projets de communication et de sensibilisation du public.

Plusieurs éléments du projet contribuent déjà aux efforts généraux de planification stratégique environnementale d'Halifax. Pour les années à venir, la MRH compte définir et mettre en œuvre des évaluations du risque et de la vulnérabilité, et élaborer des outils de gestion de mesures d'adaptation qui lui permettront de tenir compte du changement climatique dans son processus de prise de décisions et de planification municipal.

4 ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ ET PROGRÈS

4.1 ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ

Il apparaît clairement dans ce chapitre que certaines régions et certains secteurs du Canada atlantique sont sensibles au changement climatique. Les principales constatations qui ressortent sont que les zones côtières sont sensibles à l'élévation du niveau de la mer et aux phénomènes météorologiques extrêmes, les écosystèmes marins réagissent aux changements des conditions océaniques, les ressources en eau, aux changements de la température et des précipitations, les systèmes gérés comme l'agriculture et la foresterie sont sensibles aux phénomènes météorologiques extrêmes et aux infestations de ravageurs et d'agents pathogènes. Un grand nombre de recherches ont porté sur chacun de ces aspects, comme on l'a vu dans les sections correspondantes. D'autres secteurs, comme les transports, l'énergie et le tourisme, subiront également les répercussions du changement climatique, mais on dispose de moins de documentation à leur sujet, en particulier à l'échelle locale.

Pour comprendre la vulnérabilité, il faut tenir compte de la capacité d'adaptation. Bien qu'on ne dispose que de peu d'écrits scientifiques sur la capacité d'adaptation de la région de l'Atlantique, on peut tout de même en tirer des conclusions. Les ressources économiques limitées de nombreuses collectivités rurales restreignent considérablement leur capacité d'adaptation. La petite taille des exploitations agricoles par rapport au reste du Canada et la mauvaise qualité des sols réduisent la capacité des agriculteurs à s'adapter. La surpêche passée restreint les choix de certains pêcheurs professionnels et collectivités de pêcheurs, et la réglementation adoptée en fonction des conditions climatiques du passé pour la construction des bateaux, la détermination des saisons de pêche et d'autres activités, pourra ne plus convenir aussi bien à mesure que le climat continuera de changer. Le coût du déplacement d'infrastructures essentielles situées à des endroits vulnérables peut s'avérer exorbitant. Les coutumes et les traditions locales, ainsi que l'attachement personnel à la terre, font en sorte qu'il est difficile, voire impossible, pour beaucoup de gens de déplacer ou d'abandonner des maisons situées sur la côte ou dans des plaines inondables.

Le Canada atlantique dispose, par contre, d'importants atouts qui renforcent sa capacité d'adaptation. Ses habitants ne se laissent pas facilement abattre. Ils ont réussi à s'adapter aux conditions météorologiques actuelles. Les scénarios de changement climatique indiquent que les nouvelles conditions leur seront familières en ce qui a trait aux types de phénomènes climatiques qui se manifestent habituellement, mais l'on assistera à une augmentation de leur fréquence et de leur intensité. Des tempêtes du passé, comme le coup de vent dit « Saxby Gale » de 1869 et le grand ouragan de 1775, peuvent servir d'indicateurs de remplacement pour les tempêtes à venir, tant par leurs effets physiques que par la réaction individuelle et communautaire des habitants à ces phénomènes. Bien que les ressources économiques puissent faire défaut dans certaines collectivités, leur résilience et leur cohésion sociale compensent aisément cette lacune et favorisent leurs efforts d'adaptation.

Le succès de l'adaptation dépend de la prise de conscience du problème et de l'application d'idées et de ressources. Pour ce faire, il sera essentiel de mettre en place des programmes d'éducation et d'information et, surtout, de modifier l'attitude des gens à propos du changement climatique si l'on veut accélérer le temps de réaction (particulièrement en ce qui a trait aux mesures d'adaptation) des collectivités. La capacité de l'homme d'agir sur le secteur en question entre également en jeu. Dans le cas des écosystèmes marins et terrestres, secteurs sur lesquels l'homme ne peut guère intervenir directement, le potentiel d'adaptation est relativement faible. Dans ces domaines, l'homme s'adapte surtout en reconnaissant et en surveillant les changements qui se produisent, quelle qu'en soit la cause, et en appliquant des techniques de gestion qui réduisent au minimum les stress de nature non climatique sur ces écosystèmes.

L'adaptation dans des secteurs comme l'agriculture, l'énergie, le transport et les collectivités implique également de reconnaître la nature des changements et d'y réagir. Dans bien des cas, l'adaptation a déjà commencé. Par exemple, on adopte de nouveaux types de cultures; on s'efforce de conserver l'énergie et l'eau; on conçoit des infrastructures de transport routier et de transport de l'énergie plus robustes; on met au point des technologies d'énergies renouvelables. Des collectivités comme Annapolis Royal, Channel-Port aux Basques, Beaubassin, Tignish et Halifax ont toutes entrepris des projets en vue de s'adapter au changement climatique en cours.

En évaluant les écrits traitant des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation à ce changement au Canada atlantique, et en tenant compte de ces généralisations sur la capacité d'adaptation, les auteurs ont dressé un tableau résumant la vulnérabilité des secteurs abordés dans le présent chapitre (*voir* le tableau 5). Sur une échelle allant de faible à élevée, ce tableau présente une évaluation subjective de la vulnérabilité, fondée sur des discussions entre les auteurs principaux et leurs collaborateurs. Il s'agit donc d'une opinion d'experts, fondée sur l'état des connaissances actuel. Du fait de la vaste portée de l'analyse, il a fallu avoir recours à des généralisations et à des moyennes, et cette classification ne s'appliquera pas nécessairement telle quelle à tous les endroits et à toutes les industries.

Le tableau 5 montre que les zones côtières, l'agriculture et les collectivités rurales sont les secteurs les plus vulnérables dans la région de l'Atlantique.

4.2 PROGRÈS

Il est évident que les efforts d'adaptation réussis présenteront plusieurs avantages. Les répercussions d'ordre social, économique et environnemental seraient réduites si l'on était conscient des risques liés au climat et si l'on réagissait de façon appropriée. On peut y parvenir en fournissant de meilleurs outils permettant l'intégration du changement climatique et de ses répercussions à long terme dans l'élaboration des processus décisionnels, en adoptant de nouveaux codes de construction qui permettent de limiter les

TABLEAU 5 : Exposition, sensibilité et vulnérabilité des secteurs du Canada atlantique abordés dans le présent rapport.

Secteur	Exposition	Sensibilité	Capacité d'adaptation	Vulnérabilité	Seuil de confiance
Écosystèmes terrestres	Faible à modérée	Faible à modérée	Modérée à élevée	Faible à modérée	Modéré à élevé
Zone côtière	Élevée	Élevée	Modérée	Élevée	Élevé
Écosystèmes marins	Élevée à modérée	Élevée à modérée	Faible à modérée	Élevée à modérée	Modéré à élevé
Ressources hydriques	Modérée	Modérée	Élevée	Modérée	Élevé
Foresterie	Faible	Faible	Faible à modérée	Faible à modérée	Modéré
Agriculture	Élevée	Élevée	Modérée	Modérée	Modéré à élevé
Transport	Faible	Faible à modérée	Modérée à élevée	Faible à modérée	Modéré
Énergie	Faible	Faible à modérée	Modérée à élevée	Faible à modérée	Élevé
Tourisme	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée	Faible à modéré
Collectivités rurales	Modérée à élevée	Élevée	Faible à modérée	Élevée	Modéré
Collectivités urbaines	Modérée à élevée	Modérée	Faible à modérée	Modérée	Élevé

dommages et en renforçant les politiques visant à protéger les écosystèmes fragiles. On pourrait, par exemple, gérer plus efficacement les ressources marines en intégrant le changement climatique dans les évaluations et l'élaboration des politiques. De telles politiques doivent tenir compte du fait que le climat continuera d'évoluer pendant encore bien des décennies, voire des siècles.

Dans bien des cas, les meilleures mesures d'adaptation sont des applications de principes déjà connus, susceptibles de créer des avantages malgré le changement climatique (de type « sans regrets »). Par exemple, une gestion améliorée des ressources en eau, la diversification des sources d'énergie, un usage plus efficace de l'eau, de l'énergie et d'autres ressources sensibles au climat et l'amélioration des réseaux de transport bénéficieraient à tous les habitants. La désignation de zones à risque d'inondation est une autre mesure d'adaptation de type « sans regrets ». Les résidents du Canada atlantique sont en mesure de désigner des régions qui ne conviennent pas à de nouvelles constructions en raison des dangers naturels, mais ils doivent aussi faire en sorte qu'on n'y installera aucune structure dans les années à venir.

De nombreux auteurs s'accordent à dire que les connaissances dont on dispose sont suffisantes pour justifier la mise en œuvre de mesures d'adaptation, mais qu'il serait important de poursuivre certaines recherches et de procéder à certaines évaluations qui pourraient étayer les décisions en matière d'adaptation, du moment qu'elles soient prises en considération (Adger *et al.*, 2005; Baethgen *et al.*, 2005; Martin et Chouinard, 2005). De nombreuses études font également ressortir que les collectivités ne sont pas suffisamment sensibilisées à la gravité des répercussions du changement climatique ni à la nécessité de s'y adapter de façon proactive. Il est donc nécessaire de poursuivre non seulement les recherches, mais également les efforts de sensibilisation.

Les recherches en cours continuent d'examiner les relations et les interactions entre l'homme et l'environnement. Afin de pouvoir prévoir les répercussions à venir, il vaut mieux comprendre les répercussions des tempêtes du passé, surveiller les changements qui se produisent présentement et reconnaître les interactions entre les divers secteurs. Un des principaux bénéfices de la recherche sur le changement climatique est qu'on comprend maintenant beaucoup mieux les conditions climatiques actuelles et les nombreuses influences qu'elles exercent sur l'homme.

Il serait bon que les nouvelles recherches ciblent des domaines pour lesquels un plus grand niveau de confiance aiderait au processus de prise de décisions. Il est, par exemple, nécessaire d'avoir une meilleure compréhension des impacts qui peuvent se produire et des processus qui peuvent avoir lieu. Entre autres, les lacunes sur le plan des connaissances portent sur :

- les changements de la fréquence et l'ordre de grandeur des feux de forêt et leurs répercussions sur l'écosystème;
- les répercussions du problème des espèces envahissantes et l'élaboration de mesures d'adaptation en vue d'en réduire les conséquences et de protéger la biodiversité;
- les répercussions du changement de la température de l'eau sur les espèces dulcicoles et marines;
- les relations entre les espèces dans l'océan et dans les estuaires;
- les conséquences du changement climatique sur le tourisme au Canada atlantique;
- le ressort des collectivités et leur capacité à réagir au changement climatique;
- l'élaboration et l'essai de mesures visant à améliorer la capacité d'adaptation à l'aide de mécanismes existants, comme l'évaluation environnementale, les codes de construction et les outils intégrés de prise de décisions.

RÉFÉRENCES

Abegg, B., V. König, R. Borki et H. Elsasser. « Climate change assessment in tourism », *Applied Geography and Development*, vol. 51, 1998, pp. 81–93.

Abraham, J., G. Parkes et P. Bover. « The transition of the "Saxby Gale" into an extratropical storm » (résumé), dans 23rd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Committee on Tropical Meteorology and Tropical Cyclones, American Meteorological Society, 79e réunion annuelle, 10–15 janvier, Dallas, Texas, préimpressions, vol. II, étude 11A.3, 1999, pp. 795–798.

Abrahams, M.J., J. Price, F.A. Whitlock et G. Williams. « The Brisbane floods, January 1974: their impact on health », *Medical Journal of Australia*, vol. 2, 1976, pp. 936–939.

Adger, W.N., N.W. Arnell et E.L. Tompkins. « Successful adaptation to climate change across scales », *Global Environmental Change*, vol. 15, n° 2, 2005, pp. 77–86.

Administration portuaire de Saint John. Ouvert au monde des affaires : rapport annuel 2005, Administration portuaire de Saint John, 2005, <http://www.sjport.com/français/public_registry/documents/2005AnnualReportF_000.pdf>, [consultation : 16 juin 2006].

Agence de santé publique du Canada. L'asthme infantile dans les secteurs desservis par les unités de santé sentinelles : résultats de l'enquête sur la santé pulmonaire des jeunes 1995–1996, Agence de santé publique du Canada, 1998, <http://www.phac-aspc.gc.ca/publicat/ashu-auss/index_f.html>, [consultation : 17 juin 2006].

Agence de santé publique du Canada. « Éclosion de gastro-entérite d'origine hydrique associée à un réseau d'aqueduc municipal contaminé, Walkerton (Ontario), mai-juin 2000 », Agence de santé publique du Canada, *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 26-20, 2000, <http://www.phac-aspc.gc.ca/publicat/ccdr-rmtc/00vol26/dr2620eb.html>, [consultation : 29 juin 2006].

Agriculture et Agroalimentaire Canada. *Défis que doit relever l'agriculture canadienne : vue d'ensemble du secteur agricole et agroalimentaire canadien*, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2005, <http://www.agr.gc.ca/cb/apf/pdf/bg_con_f.pdf>, [consultation : 10 avril 2007]

Alchorn, H.S. et H.J. Blanchard. *Panser les plaies cachées causées par un désastre de printemps*, Environnement Canada, 2004, <http://www.ec.gc.ca/water/fr/manage/floodgen/f_andov.htm> [consultation : novembre 2005].

Almusallam, A.A. « Effect of environmental conditions on the properties of fresh and hardened concrete », *Cement and Concrete Composites*, vol. 23, n° 4–5,2001, pp. 353–361.

Ambler, D.C. *The flood of January 1983 in central Newfoundland*, Environnement Canada et Newfoundland Department of Environment. 1985.

American Wind Energy Association. *Small wind systems and public safety*, American Wind Energy Association, Small Wind Factsheets, 2003, <http://www.awea.org/smallwind/toolbox/TOOLS/fs_safety.asp>, [consultation : 18 juin 2006].

Ashmore, P. et M. Church. *The impacts of climate change on rivers and river processes in Canada*, Commission géologique du Canada, Bulletin 555, 2001, 58 p.

Association canadienne de l'énergie éolienne. *Parcs éoliens au Canada*, Association canadienne de l'énergie éolienne, 2006a, <http://www.canwea.ca/production_stats.cfm>, [consultation : 17 avril 2006].

Association canadienne de l'énergie éolienne. *Site de l'énergie éolienne*, Association canadienne de l'énergie éolienne, 2006b, <http://www.smallwindenergy.ca/fr/FAQ.html>, [16 juin 2006].

Atherholt, T.B., M.W. LeChevallier, W.D. Norton et J. Rosen. « Effects of rainfall on giardia and cryptosporidium », *Journal of the American Waterworks Association*, vol. 90, 1998, pp. 66–80.

Aubin, P., G. Auger et C. Perreault. *Étude sur la sensibilisation au changement climatique et aux gaz à effet de serre*, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2003, <http://www.agr.gc.ca/pol/pub/climat/pdf/climat_f.pdf>, [consultation : 28 juin 2006].

Australian Wind Energy Association. *Wind farm safety issues*, Australian Wind Energy Association, 2006, <http://www.auswea.com.au/WIDP/assets/11SafetyIssues.pdf>, [consultation : 17 juin 2006].

Ayres, M.P. et M.J. Lombardero. « Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens », *The Science of Total Environment*, vol. 262, 2000, pp. 263–286.

Baethgen, W., V. Barros, I. Burton, O. Canziani, T.E. Downing, R.J.T. Klein, N. Leary, D. Malpede, J.A. Marengo, L.O. Mearns, R.D. Lasco et S.O. Wandiga. *A plan of action to support climate change adaptation through scientific capacity, knowledge and research*, Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation, C-CIARN Pêches, 2005, <http://www.fishclimate.ca/pdf/windsor/Plan_of_Action.pdf>, [consultation : November 21, 2005].

Banfield, C.E. et J.D. Jacobs. « Regional patterns of temperature and precipitation for Newfoundland during the past century », *Le Géographe canadien*, vol. 42, 1998, p. 354–364.

Barnard, J. et S. Richter. *Impact of climate change on hydroelectric generation in Newfoundland*, Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation, C-CIARN Ressources hydriques, 2004, <http://c-ciarn.mcgill.ca/Barnard_nov2004.pdf>, [consultation : 10 avril 2007].

Batterson, M.J., D.G.E. Liverman, J. Ryan et D. Taylor, D. « The assessment of geological hazards and disasters in Newfoundland: an update », dans *Current Research*, Newfoundland Department of Mines and Energy, Geological Survey, Rapport 99-1, 1999, pp. 95–123.

Beaulieu, J. et A. Rainville, A. « Adaptation of climate change: genetic variation is both a short-and long-term solution », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, n° 5, 2005. pp. 704–709.

Beazley, K., L. Smandych, T. Snaith, F. MacKinnon, P. Austen-Smit et P. Duinker. « Biodiversity considerations in conservation system planning: map-based approach for Nova Scotia, Canada », *Ecological Applications*, vol. 15, n° 6, 2005, pp. 2192–2208.

Beer, T. Environmental Oceanography (deuxième édition), CRC Press, Boca Raton, Floride, CRC Series in *Marine Science*, 1996, 400 p.

Bélanger, G., P. Rochette, A. Bootsma, Y. Castonguay et D. Mongrain. *Impact des changements climatiques sur les risques de dommages hivernaux aux plantes agricoles pérennes*. Rapport final rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, Projet A084, 2001, 65 p.

Belbin, J. et D. Clvburn. Tidal Surge Project (the coastal flooding component of the Annapolis Climate Change Outreach Project), Clean Annapolis River Project (CARP), Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN), 1998, <http://c-ciarn.dal.ca/workshops/3/presentations/Belbin.pdf>, [consultation : 17 janvier 2007].

Bell, J. et K.McKenzie. *Atlantic energy sector and climate change* (affiche), Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation, C-CIARN Atlantique, 2004, <http://c-ciarn.dal.ca/workshops/6/posters.html>, [consultation : 17 janvier 2007].

Beltaos, S. « River ice jams: theory, case studies and applications », American Society of Civil Engineering, *Journal of Hydraulics Division*, vol. 109 (HY10), 1983, pp. 1338–1359.

Beltaos, S. Effects of climate on river ice jams, 9th Workshop on River Ice, Fredericton (Nouveau-Brunswick), compte-rendu, 1997, pp. 225–244.

Beltaos, S. « Effects of climate on mid-winter ice jams », *Hydrological Processes*. vol. 16, n° 4, 2002, pp. 789–804.

Beltaos, S. et B.C.Burrell. « Climatic change and river ice break-up », *Revue canadienne de génie civil*, vol. 30, 2003, pp. 145–155.

Bennet, G.« Bristol floods 1968. controlled survey of effects on health of local community disaster », *British Medical Journal*, vol. 3, n° 720, 1970. pp. 454–458.

Berger, A.R.« Abrupt geological changes: causes, effects and public issues », *Quaternary International*, vol. 151, 2006, pp. 3–9.

Bernier, N., J. MacDonald, J. Ou, H. Ritchie et K. Thompson. « Modélisation des ondes de tempête et des conditions météorologiques », dans *Impacts de l'élévation du niveau de la mer et du changement climatique sur la zone côtière du sud-est du Nouveau-Brunswick*, R. Daigle, D. Forbes, G. Parkes, H. Ritchie, T. Webster, D. Bérubé, A. Hanson, L. DeBaie, S. Nichols et L. Vasseur (éd.), Environnement Canada, 2006, 644 p., <http://www.adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/20061113_full_report_f.pdf> [consultation : 17 janvier 2007].

Boer, G.J., G. Flato et D. Ramsden. « A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate to the twenty-first century », *Climate Dynamics*, vol. 16, 2000, pp. 427–450.

Boesch, D.F., J.C. Field et D. Scavia (éd.). « The potential consequences of climate variability and change on coastal areas and marine resources », rapport du Coastal Areas and Marine Resources Sector Team, United States National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change, United States Global Change Research Program; National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Coastal Ocean Program, *Decision Analysis Series*, n° 21, 2000, 163 p.

Bonsal, B.R. et T.D. Prowse. « Trends and variability in spring and autumn 0°C -isotherm dates over Canada », *Climatic Change*, vol. 57, n° 3, 2003, pp. 341–358.

Booth, D. Forest cover, impervious surface area and the mitigation of urbanization impacts in King County, Washington, King County Water and Land Resources Division, Seattle, Washington, 2000. <http://depts.washington.edu/cuwrm/research/forest.pdf>, [consultation : 17 janvier 2007].

Bootsma, A., S. Gameda et D.W. McKenney. « Impacts of potential climate change on selected agroclimatic indices in Atlantic Canada », *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 85, 2005a, pp. 329–343.

Bootsma, A., S. Gameda et D.W. McKenney. « Potential impacts of climate change on corn, soybeans and barley yield in Atlantic Canada », *Revue canadienne de phytotechnie*, vol. 85, 2005b, pp. 345–357.

Bosch, J.M. et J.D. Hewlett. « A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration », *Journal of Hydrology* vol. 55, 1982, pp. 3–23.

Boucher, J.J. et A.W. Diamond. *The effects of climate change on migratory birds: an annotated bibliography*, Université du Nouveau-Brunswick, Fredericton (Nouveau-Brunswick), Atlantic Cooperative Wildlife Ecology Research Network, 2001, <adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/69_e.pdf>, [consultation : 17 janvier 2007].

Bourque, C.P.-A., R.M. Cox, D.J. Allen, P.A. Arp et F.-R. Meng. « Spatial extent of winter thaw events in eastern North America: historical weather records in relation to yellow birch decline », *Global Change Biology*, vol. 11, n° 9, 2005, p. 1477.

Braun, O.L., M. Lohmann, O. Maksimovic, M. Meyer, A. Merkovic, E. Messerschmidt, A. Riedel et M. Turner. « Potential impacts of climate change effects on preferences for tourism destinations: a psychological pilot study », *Climate Research*, vol. 11, 1999, pp. 247–254.

Brklacich, M., M. Woodrow, M. Reed, J. Pierce et P. Gallaugher. *Évaluation comparative de la capacité des collectivités rurales du Canada à s'adapter à un avenir incertain*, Ressources naturelles Canada, Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, résumé de projet, 2007, <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/index_f.php?class=116>, [consultation : 18 janvier 2007].

Bruce, J. Analyse des répercussions d'une onde de tempête dans la région de Charlottetown, à l'Île-du-Prince-Édouard, Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile, Ottawa (Ontario), 2002, <http://ww3.pspc.gc.ca/research/resactivites/natHaz/SAIC_2001D005_f.pdf>, [consultation : 17 janvier 2007].

Bruce, J. « Hurricanes and climate change », *Bulletin de la Société canadienne de météorologie et d'océanographie* (SCMO), vol. 33, n° 5, 2005, p. 131.

Bruce, J., I. Burton, H. Martin, B. Mill et L. Mortsch. *Water sector: vulnerability and adaptation to climate change* (rapport final), Global Change Strategies International Company, 2000, <http://www.gcsi.ca/publications/watereport.html>, [consultation : 17 janvier 2007].

Bruce, J., H. Martin, P. Colucci, G. McBean, J. McDougall, D. Shrubsole, J. Whalley, R. Halliday, M. Alden, L. Mortsch et B. Mills. *Climate change impacts on boundary and transboundary water management*, Ressources naturelles Canada, Fonds d'action pour le changement climatique, rapport du Projet A458/402, 2003, 161 p., <http://www.saskriverbasin.ca/Resources/Climatechangestudy/Final%20Report%20A458-402%20CCAF.pdf>, [consultation : 17 janvier 2007].

Burkett, V.R. « Potential impacts of climate change and variability on transportation in the Gulf Coast / Mississippi Delta region », dans *The Potential Impacts of Climate Change on Transportation*, sommaire et compte-rendu de l'atelier, 1-2 octobre 2002, United States Department of Transportation, Center for Climate Change and Environmental Forecasting, 2003, 13 p., <http://climate.volpe.dot.gov/workshop1002/index.html>, [consultation : 29 juin 2006].

Cambers, G. « Coping with shoreline erosion in the Caribbean », *Nature and Resources*, vol. 35, 1999, pp. 43–49.

Campbell, J.L., M.J. Mitchell, P.M. Groffman, L.M. Christenson et J.P. Hardy. « Winter in northeastern North America: a critical period for ecological processes », *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 3, n° 6, 2005, pp. 314–322.

Carrera, G. et P.Vani_ek.« A comparison of present sea level linear trends from tide gauge data and radiocarbon curves in eastern Canada », *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 68, 1988, pp. 127–134.

Carscadden, J.E. et B.S. Nakashima. « Abundance and changes in distribution, biology, and behavior of capelin in response to cooler waters of the 1990s », dans *Forage Fishes in Marine Ecosystems. Proceedings of the International Symposium on the Role of Forage Fishes in Marine Ecosystems*, University of Alaska Sea Grant College Program, Report 97-01, 1997, pp. 457–468.

Carscadden, J.E., K.T. Frank et W.C. Leggett. « Ecosystem changes and the effects on capelin (Mallotus villosus), a major forage species », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 58, 2000, pp. 73–85.

Carter, J.M., J.E. Williamson et R.W. Teller. The 1972 Black Hills–Rapid City flood revisited, United States Geological Survey, Fact Sheet FS-037-02, n.d., <http://water.usgs.gov/pubs/fs/fs-037-02/>, [consultation : 15 septembre 2004].

Catto, N.R. « Anthropogenic pressures and the dunal coasts of Newfoundland », dans *Coastal Zone Canada 1994 Conference : Co-operation in the Coastal Zone*, P.G. Wells et P.J. Ricketts (éd.), Institut océanographique de Bedford, compte-rendu, vol. 5, 1994, pp. 2266–2286.

Catto, N.R. « Anthropogenic pressures on coastal dunes, southwest Newfoundland », *Le Géographe canadien*, vol. 46, 2002, pp. 17–32.

Catto, N.R. *Impacts of climate change and variation on the natural areas of Newfoundland and Labrador*, Newfoundland and Labrador Ministry of the Environment, rapport, 2006, 160 p.

Catto, N.R. Natural hazard and vulnerability assessment in Atlantic Canada: review, progress and challenges, *McGill-Queen's University Press*, sous presse a.

Catto, N.R. « More than 16 years, more than 16 stressors: evolution of a reflective gravel beach 1989–2005 », *Géographie physique et Quaternaire*, sous presse b.

Catto, N.R. et G. Catto. « Climate change, communities and civilizations: driving force, supporting player or background noise? », *Quaternary International*, vol. 123, 2004, pp. 7–10.

Catto, N.R. et G. Catto. « Climate change and the sustainability of northwest North Atlantic communities: examples from Newfoundland and Prince Edward Island, Canada », présentation faite à la réunion Economy and Civilization – The 21st Global Program (EECGP) Sustainability of the Islands, Towada, Japon, 2005.

Catto, N.R. et H. Hickman. Risque d'inondation et vulnérabilité des collectivités de Terre-Neuve-et-Labrador, Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile Canada, 2004.

Catto, N.R. et L. St. Croix. « Urban geology of St. John's, Newfoundland », dans *Urban Geology of Canadian Cities*, P.F. Karrow et O.L. White (éd.), Association géologique du Canada, Publication spéciale n° 42, 1998, pp. 445–462.

Catto, N.R., E. Edinger, D. Foote, D. Kearney, G. Lines, B. DeYoung et W. Locke. *Impacts de tempête et de vents sur le transport dans le sud-ouest de Terre-Neuve*, Ressources naturelles Canada, Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, 2006.

Catto, N.R., H. Griffiths, S. Jones et H. Porter. « Late Holocene sea level changes, eastern Newfoundland », dans *Current Research*, Newfoundland Department of Mines and Energy, Geological Survey, Rapport 2000-1, 2000, pp. 49–59, <http://www.nr.gov.nl.ca/mines&en/geosurvey/publications/cr2000/Catto.pdf>, [consultation : 21 mai 2007]

Catto, N.R., K. MacQuarrie et M. Hermann. « Geomorphic response to Late Holocene climate variation and anthropogenic pressure, northeastern Prince Edward Island, Canada », *Quaternary International*, vol. 87, 2002, pp. 101–118.

Catto, N.R., D.A. Scruton et L.M.N. Ollerhead. « The coastline of eastern Newfoundland », Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 2495, n° de catalogue Fs 97-6/2495E, 2003.

Centre canadien pour l'innovation dans le domaine des pêches. Shrimp vessel workshop, Centre canadien pour l'innovation dans le domaine des pêches, 2004, <http://www.ccfi.ca/secure/svp/>, [consultation : 10 avril 2007].

Chabot, D. et J.-D. Dutil. « Reduced growth of Atlantic cod in nonlethal hypoxic conditions », *Journal of Fisheries Biology*, vol. 55, 1999, pp. 472–491.

Charron, D.F., M.K. Thomas, D. Waltner-Toews, J.I. Aramini, T. Edge, R.A. Kent, A.R. Maarouf et J. Wilson. « Vulnerability of waterborne diseases to climate change in Canada: a review », *Journal of Toxicology and Environmental Health*, partie A, vol. 67, 2004, pp. 1667–1677.

Chmura, G., L.L. Helmer, C.B. Beecher et E.M. Sunderland. « Historical rates of salt marsh accretion on the outer Bay of Fundy », *Revue canadienne des sciences de la Terre*, vol. 38, 2001, pp. 1081–1092.

Clair, T., S. Beltaos, W. Brimley et A. Diamond. « Climate change sensitivities of Atlantic Canada's hydrological and ecological systems », dans *Climate Change and Climate Variability in Atlantic Canada*, R.W. Shaw (éd.), Environnement Canada, Région de l'Atlantique, Dartmouth (Nouvelle-Écosse), Publication hors-série n° 9, 1997, pp. 59–68.

Clair, T., J. Ehrman et K. Higuchi. « Changes to the runoff of Canadian ecozones under a doubled CO^2 atmosphere », *Journal canadien des sciences halieutiques at aquatiques*, vol. 55, 1998, pp. 2464–2477.

Clark, D.S. et J.M. Green. « Seasonal variation in temperature preference of juvenile Atlantic cod (Gadus morhua), with evidence supporting an energetic basis for their diel vertical migration », *Revue canadienne de zoologie*, vol. 69, 1991, pp. 1302–1307.

Coakley, S.M., H. Scherm et S. Chakraborty. « Climate change and plant disease management », *Annual Review of Phytopathology*, vol. 37, 1999, pp. 399–426.

Colbo, M.H., T.M. Lommond, J.M. Perez et G.C. Cutler. « Can impoverished aquatic insect communities be used for water quality monitoring », Société canadienne des biologistes de l'environnement, compte-rendu de la 37e réunion annuelle, Edmonton (Alberta), 1999, pp. 115–123.

Colbourne, E.B., J. Brattey, G. Lilly et G.A. Rose. The AZMP program contributes to the scientific investigation of the Smith Sound mass fish kill of April 2003, Pêches et Océans Canada, Programme de surveillance de la zone Atlantique, Bulletin n° 3, 2003, pp. 45–48, <http://www.meds-sdmm.dfo-mpo.gc.ca/zmp/Documents/AZMP_bulletin_3.pdf> [consultation : 17 janvier 2007].

Connell, B. et R.G. Morton. Organic Market Research and Action Plan, Atlantic Canadian Organic regional Network, 2003, <http://www.acornorganic.org/pdf/MarketingFinalReport.pdf>, [consultation : 11 mai 2007].

Conroy, D. *Habitat enhancement in Cascumpec and Tracadie Bays*, PEI, thèse de maîtrise, Environmental Science, Memorial University, St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador), 2007.

Conseil canadien de développement social. Fiche sur le Bien-Être. Conseil canadien de développement social, 2006, <http://www.ccsd.ca/pccy/2006/pdf/fs_be.pdf>, [consultation : 17 juin 2006].

Coote, D.R. et L.J. Gregorich. *La santé de l'eau : vers une agriculture durable au Canada*, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Publication 2020/F, 2000.

Côté, P.W. *Ice limits, eastern Canadian seaboard*, Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, Climatologie et Applications, rapport inédit, 1989, 39 p.

Cox, R.M. et P.A. Arp. Using winter climatic data to estimate spring crown dieback in yellow birch: a case study to project extent and locations of past and future birch decline, Service canadien des forêts, Fredericton (Nouveau-Brunswick), 2001.

Curriero, F.C., J.A. Patz, J.B. Rose et S. Lele. « The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948–1994 », *American Journal of Public Health*, vol. 91, 2001, pp. 1194–1199.

Daigle, R., D. Forbes, G. Parkes, H. Ritchie, T. Webster, D.Bérubé, A. Hanson, L. DeBaie, S. Nichols et L. Vasseur. *Impacts de l'élévation du niveau de la mer et du changement climatique sur la zone côtière du sud-est du Nouveau-Brunswick*, Environnement Canada, 2006. 644 p., <http://www.adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/20061113_full_report_f.pdf>, [consultation : 17 janvier 2007].

Dale, V.H., L.A. Joyce, S. McNulty, R.P. Neilson, M.P. Ayres, M.D.., Flannigan, P.J. Hanson, L.C. Irland, A.E. Lugo, C.J. Peterson, D. Simberloff, F.J. Swanson, B.J. Stocks et B.M. Wotton. « Climate change and forest disturbances », *Bioscience*, vol. 51, nº 9, 2001, pp. 723–734.

Dales, R.E., H. Zwanenburg, R. Burnett et C.A. Franklin. « Respiratory health effects of home dampness and molds among Canadian children », *American Journal of Epidemiology*, vol. 134, 1991, pp. 196–203.

Davoren, G.K. et W.A. Montevecchi. « Signals from seabirds indicate changing biology of capelin biology », *Marine Ecology Progress Series*, vol. 258, 2003, pp. 253–261.

Davoren, G.K., W.A. Montevecchi et J.T. Anderson. « Search strategies of a pursuit-diving marine bird and the persistence of prey patches », *Ecological Monographs*, vol. 73, 2003, pp. 463–481.

DeBaie, L., M. Murphy, A. Austen, N. Fitzgerald et R. Daigle. « Bouctouche : évaluation des effets intégrés sur l'industrie du tourisme », dans *Impacts de l'élévation du niveau de la mer et du changement climatique sur le zone côtière du sud-est du Nouveau-Brunswick*, Environnement Canada, 2006, 516 p., <http://www.adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/20061113_full_report_f.pdf>, [consultation : 17 janvier 2007].

Debernard, J., Ø. Saetra, et P. Røed. « Future wind, wave and storm surge climate in the northern North Atlantic », *Climate Research*, vol. 23, 2002, pp. 9–49.

Degnen, C. *Healing Sheshatshit: Innu identity and community healing*, thèse de maîtrise, Université McGill, Montréal (Québec), 1996.

De Kimpe, C.R. « Water quality/quantity issues for sustainable agriculture in Canada », compte-rendu de la 12e Conférence de l'Organisation internationale de conservation des sols, Beijing, Chine, du 26 au 31 mai 2002, Tsinghua University Press, 2002, pp. 380–385.

Delusca, K., O. Chouinard et L.Vasseur. Marées de tempête et communautés à risques dans le sud-est du Nouveau-Brunswick : cas de la communauté de Pointe-du-Chêne, présentation faite à la conférence annuelle de l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences, Montréal (Québec), mai 2006.

Delworth, T.L. et M.E.Mann. «Observed and simulated multi-decadal variability in the Northern Hemisphere », *Climate Dynamics*, vol. 16, 2000, pp. 661–676.

Dionne, M., B. Sainte-Marie, E. Bourget et D.Gilbert. « Distribution and habitat selection of early benthic stages of snow crab, Chionoecetes opilio », *Marine Ecology Progress Series*, vol. 259, 2006, pp. 117–128.

Dolgonosov, B.M. et K.A. Korchagin. « Statistical assessment of relationships between water flow in a river and water turbidity in water intakes », *Water Resources*, vol. 32, 2006, pp. 175–182.

Dominici, F., R.D. Peng, M.L. Bell, L. Pham, A. McDermott, S.L. Zeger et J.M. Samet. « Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases », *Journal of the American Medical Association*, vol. 295, 2006, pp. 1127–1134.

Drinkwater, K.F., A. Belgrano, A. Borja, A. Conversi, M. Edwards, C. Greene, G. Ottersen, A. Pershing et H. Walker. « The response of marine ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation », dans *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact, American Geophysical Union, Geophysical Monograph* 134, 2003, pp. 211–234.

Drinkwater, K.F., R.G. Pettipas et W.P. Petrie. *Overview of meteorological and sea ice conditions off eastern Canada during 1998*, Pêches et Océans Canada, Évaluation des stocks canadiens, Document de recherche 99/51, 1999.

Easterling, D.R. « Observed climate change and transportation », dans *The Potential Impacts of Climate Change on Transportation: Workshop Summary and Proceedings*, United States Department of Transportation, Center for Climate Change and Environmental Forecasting, 2002, <http://climate.volpe.dot.gov/workshop1002/easterling.doc>, [consultation : 18 janvier 2007].

El-Jabi, N. *Impact du changement climatique sur la température de l'eau des rivières et la croissance des poissons*, Fonds d'action pour le changement climatique, rapport final du Projet A217, 2002, <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/19a_f.pdf> [consultation : 18 janvier 2007].

El-Jabi, N. et E. Swansburg. *Impacts des changements climatiques sur la période de montaison du saumon atlantique dans l'est du Canada et adaptation des modèles saisonniers et de la gestion pour améliorer l'accès aux ressources*, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, rapport final du Projet A505, 2004, <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/94_f.pdf>, [consultation : 18 janvier 2007].

El-Jabi, N., C. Hébert, N. Savoie, E. Swansurg, D. Caissie, B. Burrell, R. Hughes et D. Pupek. *Climate change impacts on low flow characteristics of New Brunswick rivers and adaptation strategies for instream flow needs*, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, rapport final du Projet A367, 2004, <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/50_e.pdf>, [consultation : 18 janvier 2007].

Emanuel, K. « Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years », *Nature*, vol. 436, 2005, pp. 686–688.

Energy Information Administration. International energy outlook 2005. Energy Information Administration, 2005, <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/electricity.html>, [consultation : 17 juin 2006].

Enfield, D.B., M. Mestas-Nuñes et P.J. Trimble. « The Atlantic multi-decadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental USA », *Geophysical Research Letters*, vol. 28, 2001, pp. 2077–2080.

Environnement Canada. *Normales et moyennes climatiques au Canada, 1971–2000*, Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, 1993, <http://climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climate_normals/index_f.html>, [consultation : 18 janvier 2007].

Environnement Canada. *Espèces en péril*, Environnement Canada, 2003, <http://www.speciesatrisk.gc.ca>, [consultation : 27 avril 2006].

Environnement Canada. *Les inondations au Canada — Les provinces de l'Atlantique*, Environnement Canada, 2004a, <http://www.ec.gc.ca/water/fr/manage/floodgen/f_atlan.htm>, [consultation : 29 juin 2006].

Environnement Canada. *Ouragan Juan*, Environnement Canada, 2004b, <http://www.atl.ec.gc.ca/weather/hurricane/juan/index_f.html>, [consultation : 26 avril 2006].

Environnement Canada. *Le Centre canadien de prévision d'ouragan : Atlantique -aperçu de la saison d'ouragans 2004*, Environnement Canada, 2004c, <http://www.atl.ec.gc.ca/weather/hurricane/outlook2004_f.html>, [consultation : 11 octobre 2005].

Environnement Canada. Créé pour commémorer l'ouragan Hazel, Environnement Canada, Centre canadien de prévision d'ouragan, 2004d. <http://www.atl.ec.gc.ca/weather/hurricane/hazel/fr/index.html>, [consultation : 29 juin 2006].

Environnement Canada. *Normales et moyennes climatiques au Canada, 1971–2000*, Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, 2005a, <http://climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climate_normals/index_f.html>, [consultation : 18 janvier 2007].

Environnement Canada. *Description narrative des écozones et des écorégions terrestres du Canada*, Environnement Canada, 2005b, <http://www.ec.gc.ca/soer-rec/Français/Framework/NarDesc/default.cfm>, [consultation : août 2005].

Environnement Canada. *Bulletin des tendances et des variations climatiques*, Environnement Canada, 2005c, <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/ccrm/bulletin/national_f.cfm>, [consultation : 18 janvier 2007].

Epstein, P. et C. Rogers (éd.). *Inside the greenhouse: the impacts of CO^2 and climate change on public health in the inner city*, Center for Health and the Global Environment, Harvard Medical School, 2004, <http://chge.med.harvard.edu/publications/documents/green.pdf>, [consultation : 18 janvier 2007].

Evans, S. et G.R.Brooks. «An earthflow in sensitive Champlain Sea sediments at Lemieux, Ontario, June 20, 1993, and its impact on the South Nation River », *Revue canadienne de géotechnique*, vol. 31, 1994, pp. 384–394.

Falkingham, J.O., C.D. Norton et M.W. LeChevallier. « Factors influencing numbers of Mycobacterium avium, Mycobacterium intracellulare, and other mycobacteria in drinking water distribution systems », *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 67, 2001, pp. 1225–1231.

Fédération canadienne des municipalités. *Final report on FCM Municipal Infrastructure Risk project: adapting to climate change*, Fonds d'action pour le changement climatique, Ressources naturelles Canada, Projet A316, 2002, 29 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/16_e.pdf>, [consultation : 16 mai 2007].

Fenco Newfoundland Limited. *Hydrotechnical study of the Badger and Rushy Pond areas*, rapport rédigé pour le Newfoundland and Labrador Department of Environment and Conservation et Environnement Canada, 1985.

Fish, M.R., I.M. Côté, J.A. Gill, A.P. Jones, S. Renshoff et A.R. Watkinson. « Predicting the impact of sea-level rise on Caribbean sea turtle nesting habitat », *Conservation Biology*, vol. 19, nº 2, 2005, pp. 482–491, <http://cmbc.ucsd.edu/content/1/docs/Fish-2003.pdf>, [consultation : 18 janvier : 2007].

Flannigan, M., I. Campbell, M. Wotten. « Future fire in Canada's Boreal forest: paleoecology results and General Circulation Model – Regional Climate Model simulations », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 31, 2001, pp. 854–864.

Flannigan, M., B.J. Stocks, B.M. Wotten, C. Carcaillet, P. Richard et Y. Bergeron. « Climate change and forest fires », *The Science of the Total Environment*, vol. 262, pp. 221–229, 2000, <http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment/forests/forests5.pdf>, [consultation : 18 janvier 2007].

Forbes, D.L., G.K. Manson, R. Chagnon, S.M. Solomon, J.J van der Sanden et T.L. Lynds. « Nearshore ice and climate change in the southern Gulf of St. Lawrence », dans *Ice in the Environment: Proceedings of the 16th International Symposium on Ice*, V.A. Squire (éd.), International Association of Hydraulic Engineering and Research, vol. 1, 2002, pp. 344-351.

Forbes, D.L., J.D. Orford, R.W.G. Carter, J. Shaw et S.C. Jennings. « Morphodynamic evolution, self-organisation, and instability of coarse-clastic barriers on paraglacial coasts », *Marine Geology*, vol. 126, 1995, pp. 63–85.

Forbes, D.L., G.S. Parkes, G.K. Manson et L.A. Ketch. « Storms and shoreline retreat in the southern Gulf of St. Lawrence », *Marine Geology*, vol. 210, 2004, pp.169–204.

Forbes, D.L., G. Parkes, C. O'Reilly, R. Daigle, R. Taylor et N. Catto. Storm-surge, sea-ice and wave impacts of the 21–22 January 2000 storm in coastal communities of Atlantic Canada, 34e Congrès de la Société canadienne de météorologie et d'océanographie, du 29 mai au 2 juin 2000,Victoria (Colombie-Britannique), 2000.

Forbes, D.L., J. Shaw et R.B. Taylor. « Impact et adaptation à la variabilité et au changement du climat à l'Atlantique », dans *L'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*, J. Abraham, T. Canavan et R. Shaw (éd.), Environnement Canada, vol. VI, 1998.

Foster, D.R., D.H. Knight et J.F. Franklin. « Landscape patterns and legacies resulting from large, infrequent forest disturbances », *Ecosystems*, vol. 1, 1998, pp. 497–510.

Freeze, P.A. et J.A. Cherry. Groundwater, Prentice Hall, Englewood Cliffs (New Jersey), 1979.

Gasset N., Y. Gagnon et G.J. Poitras. «Wind atlas of New Brunswick, Part I: input data and wind resource assessment », *Renewable Energy*, sous presse.

Gaston, A.J., J.M. Hipfner et D. Campbell. « Heat and mosquitoes cause breeding failures and adult mortality in an Arctic-nesting seabird », *Ibis*, vol. 144, nº 2, 2002, p. 185.

Gitay, H., S. Brown, W. Easterling et B. Jallow (éd.). « Ecosystems and their goods and services », chapitre 5 dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 235-342, <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/pdf/wg2TARchap5.pdf>, [consultation : 18 janvier 2007].

Goldenberg, S.B., C.W. Landsea, A.M. Mestas-Nuñez et W.M. Gray. « The recent increase in Atlantic hurricane activity: causes and implications », *Science*, vol. 293, 2001, pp. 474–479.

Goldenberg, S.B., L.J. Shapiro et C.W. Landsea. «The hyper-active 1995 Atlantic hurricane season: a spike or a harbinger of things to come? », dans *Climate Change and Climate Variability in Atlantic Canada*, R.W. Shaw (éd.), Environnement Canada, Région de l'Atlantique, Publication hors-série nº 9, 1997, pp. 113–119.

Goos, T. et G. Wall. « Impacts of climate change on resource management of the north », Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, *Climate Change Digest*, CCD 94-02, 1994, 7 p.

Gornitz, V., R.C. Daniels, T.W. White et K.R. Birdwell. « The development of a coastal risk assessment database: vulnerability to sea-level rise in the US southeast », *Journal of Coastal Research*, Special Issue 12, 1993, pp. 327–338 et United States Government Report DE-AC05-84.

Gosselin, P. *Changement climatique et santé publique au Nunavik et au Labrador : état des connaissances scientifiques et du savoir traditionnel*, Ressources naturelles Canada, Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, 2004.

Government of Newfoundland and Labrador. *Action plan demonstrates commitment to addressing climate change, Government of Newfoundland and Labrador*, communiqué, 2005, <http://www.releases.gov.nl.ca/releases/2005/env/0713n03.htm>, [consultation : 25 août 2005].

Government of Newfoundland and Labrador. *Community accounts, demographic data for Nain, Labrador, Government of Newfoundland and Labrador*, 2006, <www.communityaccounts.ca/communityaccounts/onlinedata>, [consultation : 26 novembre 2006].

Government of Nova Scotia. *Adapting to a changing climate in Nova Scotia: vulnerability assessment and adaptation options*, 2005, <http://www.gov.ns.ca/energy/AbsPage.aspx?siteid=1&lang=1&id=1392>, [consultation : 1 mai 2007]

Government of Prince Edward Island. *Prince Edward Island economic statistics 2004*, Government of Prince Edward Island, InfoPEI, n.d., <http://www.gov.pe.ca/infopei/index.php3?number=13090&lang=E>, [consultation : 18 janvier 2007].

Government of Prince Edward Island. *Monitoring the groundwater table on PEI*, Government of Prince Edward Island, InfoPEI, <http://www.gov.pe.ca/infopei/onelisting.php3?number=51930>, [consultation : 26 avril 2006].

Gray, P. « Impacts of climate change on diversity in forested ecosystems: some examples», *The Forestry Chronicle*, vol. 81, nº 5, 2005, pp. 655–659.

Green, K., D. Chien et J. Yahoodik. *Stock modeling for railroad locomotives and marine vessels*, United States Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, rapport final, 2004, 34 p., <http://climate.dot.gov/docs/stockfinal.pdf>, [consultation : 18 janvier 2007].

Greenough, G., M. McGeehin, S.M. Bernard, J. Trtani, J. Riad et D. Engelberg. « The potential impacts of climate variability and change on health impacts of extreme weather events in the United States », *Environmental Health Perspectives*, vol. 109, Supplément nº 2, 2001, pp. 191–198.

Hadley Centre. Hadley Centre for Climate Prediction and Research, 2006, <http://www.meto.gov.uk/research/hadleycentre>, [consultation : avril 2006].

Halifax Port Authority. Port of Halifax, Halifax Port Authority, 2006, <www.portofhalifax.ca>, [consultation : 10 avril 2007].

Hanrahan, M. « Industrialization and the politicization of health in Labrador Métis society », *Canadian Journal of Native Studies*, vol. 20, nº 2, 2000, pp. 231–250.

Hansen, P.M. *Studies on the biology of the cod in Greenland waters*, rapports et procès-verbaux des réunions, *Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, vol. 123, 1949, pp. 1–83.

Harmon, M.E., J.F. Franklin, F.J. Swanson, P. Sollins, S.V. Gregory, J.D. Lattin et N.H. Anderson. « Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems », *Advances in Ecological Research*, vol. 5, 1986, pp. 133–302.

Harrison, S.J., S.J. Winterbottom et R.C. Johnson. « A preliminary assessment of the socio-economic and environmental impacts of recent changes in winter snow cover in Scotland », *Scottish Geographical Journal*, vol. 117, 2001, pp. 297–312.

Hauer, G., M. Weber et D. Price. *Climate change impacts on agriculture/forestry land use patterns: developing and applying an integrated economy-ecosystem response and adaptation impacts assessment model*, Fonds d'action pour le changement climatique, rapport final, 2002, <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/77_e.pdf>, [consultation : 18 janvier 2007].

Hayes, M.O. « Hurricanes as geological agents, south Texas coast », *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, vol. 51, 1967, pp. 937–942.

Heal, O.W. « Potential responses of natural terrestrial ecosystems to Arctic climate change », *BÚVÍSINDI Icelandic Agricutural Science*, vol. 14, 2001, pp. 3–16.

Hermanutz, L., H. Mann, M.E. Anions, D. Ballam, T. Bell, J. Brazil, N. Djan-Chékar, G. Gibbons, J. Maunder, S.J. Meades, W. Nicholls, N. Smith et G. Yetman. National recovery plan for Long's Braya (Brava longii Fernald) and Fernald's Braya (Braya fernaldii Abbe), Programme national de rétablissement des espèces canadiennes en péril (RESCAPÉ), Ottawa (Ontario), *Plan de rétablissement national* nº 23, 2002, 33 p.

Hermanutz, L., S. Tilley, J. Kemp, T. Bell, P. Dixon, W. Nicholls et E. Donato. *Risk assessment of insect pests and pathogens on endangered plants of the Limestone Barrens of Newfoundland*, rapport rédigé par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada , Environnement Canada, 2004.

Hill, B.T. et W. Clarke. *Ice conditions in Conception Bay*, Conseil national de recherches du Canada, Institut des biosciences marines, Test Report TR-1999-02, 1999.

Hill, B.T., A. Ruffman et K. Drinkwater. « Historical record of the incidence of sea ice on the Scotian Shelf and the Gulf of St. Lawrence », dans *Ice in the Environment: Proceedings of the 16th International Symposium on Ice*, International Association of Hydraulic Engineering and Research, vol. 1, 2002, pp. 313–320.

H. John Heinz Center for Science, Economics and the Environment. « Developing and evaluating mitigation strategies », dans *The Hidden Costs of Coastal Hazards: Implications for Risk Assessment and Mitigation, Island Press* (éd.), Washington (DC), 2000, pp. 139–168.

Holtmeier, F.-K. et G. Broll. « Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales », *Global Ecology and Biogeography*, vol. 14, 2005, pp. 395–410.

Hornberger, G.M., J.P. Raffensberger, P.L. Wiberg et K.N. Eshleman. *Elements of Physical Hydrology*, John Hopkins University Press, Baltimore, Ohio, 1998, 312 p.

Hurrell, J.W. « Decadal trends in the North Atlantic Oscillation and relationships to regional temperatures and precipitations », *Science*, vol. 269, 1995, pp. 676–679.

Hurrell, J.W., Y. Kushnir, G. Ottersen et M. Visbeck. « An overview of the North Atlantic Oscillation », dans *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*, American Geophysical Union, Geophysical Monograph 134, 2003, pp. 1–35.

Hutchinson, D.L. « The Saxby Gale », *Transactions of the Canadian Institute*, vol. IX, part. 3, nº 22, 1911, p. 257

Ingram, D. Coastal geomorphology, erosion and anthropogenic stresses, *Sandbanks Provincial Park, southwestern Newfoundland*, thèse de baccalauréat, Memorial University, St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador), 2004.

Ingram, D. *An investigation of the role of tidal variation on storm surge elevation and frequency in Port-aux-Basques, Newfoundland*, Memorial University, Department of Environmental Science, St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador), rapport de recherches inédit, 2005.

Institut canadien d'études climatologiques. Projet canadien des scénarios de répercussions climatiques, Institut canadien d'études climatologiques, 1999-2005, <http://www.cics.uvic.ca/scenarios/index.cgi?F_Introduction>, [consultation : 26 avril 2006].

Irland, L.C. « Ice storms and forest impacts », *The Science of the Total Environment*, vol. 262, 2000, pp. 231–242.

Jacobs, J.D. et C.E. Banfield. « Aspects of the hydroclimatology of Newfoundland under a varying climate », dans *Contributions to IHP-V* by Canadian Experts, Canadian National Committee for the International Hydrological Programme (IHP), UNESCO, Paris, Technical Documents in Hydrology, n° 33, 2000.

Johnston, C.A. « Material fluxes across wetland ecotones in northern landscapes », *Ecological Applications*, vol. 3, 1993, pp. 424–440.

Jones, J.A.A. Global Hydrology, Addison Wesley Longman Ltd., Essex, Royaume-Uni, 1997, 416 p.

Jonkman, S.N. et I. Kelman. « An analysis of causes and circumstances of flood disaster deaths », *Disasters*, vol. 29, 2005, pp. 75–97.

Josenhans, H. et S. Lehman. « Late glacial stratigraphy and history of the Gulf of St. Lawrence, Canada », *Revue canadienne des sciences de la Terre*, vol. 36, 1999, pp. 1327–1345.

Kearns, E.J. *A description of the North Atlantic current system from historical hydrography*, thèse de doctorat, University of Rhode Island, Kingston (Rhode Island), 1996.

Kerr, R.A. « A North Atlantic climate pacemaker for the centuries », *Science*, vol. 288, 2000, pp. 1984–1986.

Knutsen, T.R. et R.E. Tuyela. « Impact of CO^2-induced warming on simulated hurricane intensity and precipitation: sensitivity to the choice of climate model and convective parameterization », *Journal of Climate*, vol. 17, 2004, pp. 3477–3495.

Krakar, E. et K. Longtin. *Vue d'ensemble du système agricole et agroalimentaire canadien*, Agriculture et Agroalimentaire Canada, publication 10066F, 2005, 1186 p.

Kuehne, H. et J. Cairns. « An innovative approach to development of a regional stormwater management facility », *Associated Engineering Technical Papers*, <http://www.ae.ca/fulton.html>, [consultation : 29 juin 2006].

Kuzima, S.I., L. Bengtsson, O.M. Johannessen, H. Drange, L.P. Bobylev et M.W. Miles. «The North Atlantic Oscillation and greenhouse-gas forcing », *Geophysical Research Letters*, vol. 32, n° 4, 2005, pp. 1-4.

Labelle, C. *Main components of smog*, Gouvernement du Canada, Direction de la recherche parlementaire, Division de la science et de la technologie, 1998, <http://dsp-psd.pwgsc.gc.ca/Collection-R/LoPBdP/modules/prb98-4-smog/maincomponents-e.htm>, [consultation : 29 juin 2006].

Landsea, C.W, G.D. Bell, W.M. Gray et S.B. Goldenberg. « The extremely active 1995 Atlantic hurricane season: environmental conditions and verification of seasonal forecasts », *Monthly Weather Review*, vol. 126, 1998, pp. 1174–1193, <http://hurricane.atmos.colostate.edu/Includes/Documents/Publications/landseaatal1998.pdf>, [consultation : 18 janvier 2007].

Langevin, A. *Climate change: potential impacts on shipping*, Transports Canada, 2003, <http://c-ciarn.mcgill.ca/Langevin.pdf>, [consultation : 10 avril 2007].

Lenky, C., B. Sjare et T. Millar. *Seal/salmon interactions and climate variability: has the potential for seal predation on salmon changed in Newfoundland and Labrador waters?*, Pêches et Océans Canada, note inédite, 2006.

Leroy, S. « From natural hazard to environmental catastrophe, past and present », *Quaternary International*, vol. 158, n° 1, 2006, pp. 4–12.

Lewis, P.J. « Climate trends in Atlantic Canada », dans *Climate Change and Climate Variability in Atlantic Canada*, R.W. Shaw (éd.), Environnement Canada, Région de l'Atlantique, Publication hors-série n° 9, 1997, pp. 180–183.

Lines, G. et M. Pancura. Building climate change scenarios of temperature and precipitation in Atlantic Canada using the statistical downscaling model (SDSM), Environnement Canada, Service météorologique du Canada, Région de l'Atlantique, *Science Report Series 2005-9*, 2005, 41 p.

Lines, G., M. Pancura et C. Landeer. Building climate change scenarios of temperature and precipitation in Atlantic Canada using the statistical downscaling model (SDSM), 14th Symposium on Global Change and Climate Variations, American Meteorological Society Annual Meeting, Long Beach, Californie, 2003, pp. 1–25

Liverman, D.G.E., N.R. Catto et M.J. Batterson. « Geological hazards in St. John's », *Newfoundland and Labrador Studies*, sous presse.

Liverman, D.G.E., D.L. Forbes et R.A. Boger. « Coastal monitoring on the Avalon Peninsula », dans *Current Research*, Newfoundland Department of Mines and Energy, Geological Survey, Rapport 94-1, 1994a, pp. 17–27, <http://www.nr.gov.nl.ca/mines&en/geosurvey/publications/cr2006/batterson.pdf>, [consultation : 21 mai 2007].

Liverman, D.G.E., D.L. Forbes et R.A. Boger. « Coastal monitoring on the Avalon Peninsula, Newfoundland », dans *Coastal Zone Canada 1994*, Co-operation in the Coastal Zone, P.G. Wells et P.J. Ricketts (éd.), Institut océanographique de Bedford, compte-rendu, vol. 5, 1994b, pp. 2329–2344.

Lomond, T.M. *Can a naturally impoverished boreal Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera (EPT) fauna serve as an indicator of water quality?*, thèse de maîtrise, Memorial University, St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador), 1997.

MacIver, D.C. et E. Wheaton. « Tomorrow's forests: adapting to a changing climate », *Climatic Change*, vol. 70, 2005, pp. 273–282.

Marcogliese, D.J. « Implications of climate change for parasitism of animals in the aquatic environment », *Revue canadienne de zoologie*, vol. 79, 2001, pp. 1331–1352.

Markham, W.E. *Atlas des glaces : littoral de l'Est canadien*, Environnement Canada, 1980.

Marra, P.P., C.M. Francis, R.S. Mulvihil et F.R. Moore. « The influence of climate on the timing and rate of spring bird migration », *Oecologia*, vol. 142, n° 2, 2006, pp. 307–315.

Marsalek, P.M., W.E. Watt, J. Marsalek et B.C. Anderson. « Winter flow dynamics of an on-stream storm management pond », *Water Quality Research Journal of Canada*, vol. 35, n° 3, 2000, pp. 505–523.

Marshall, J., Y. Kushnir, D. Battisti, P. Chang, A. Czaja, R. Dickson, J. Hurrell, M. McCartney, R. Saravanan et M. Visbeck. « North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms », *International Journal of Climatology*, vol. 21, 2001, pp. 1863–1898

Martin, G. et O. Chouinard. *L'adaptation aux risques associés aux effets des changements climatiques sur les zones côtières dans le sud est du Nouveau Brunswick : pour une intégration des perceptions et connaissances locales*, manuscript inédit, disponible auprès de O. Chouinard, Université de Moncton, Moncton (Nouveau-Brunswick), 2005.

Masek, J.G. « Stability of boreal forest stands during recent climate change: evidence from Landsat satellite imagery », *Journal of Biogeography*, vol. 28, 2001, pp. 967–976.

Matthews, D. et A. Sutton. Labrador: the people — the cultures, *Print Atlantic*, Corner Brook (Terre-Neuve-et-Labrador), 2003.

McBoyle, G., D. Scott et B. Jones. Climate change and the North American snowmobiling industry (résumé), conférence de l'Association canadienne des géographes, Lakehead University, Thunder Bay (Ontario), résumés, 2006, p. 65.

McCulloch, M.M., D.L. Forbes et R.D. Shaw. *Coastal impacts of climate change and sea-level rise on Prince Edward Island*, Commission géologique du Canada, Dossier public 4261, 2002.

McCurdy, D et B. Stewart. A discussion paper on climate change and forestry in Nova Scotia: ecological implications and management options, Nova Scotia Department of Natural Resources, *Forest Research Report* No. FOR 2003-4, 2003.

McLean, R.F., A. Tsyban, V. Burkett, J.O. Codignotto, D.L. Forbes, N. Mimura, R.J. Beamish et V. Ittekkot. « Zones côtières et écosystèmes marins », dans *Bilan 2001 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité*, contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/>, [consultation : octobre 2002].

McMichael, A.J., D.H. Campbell-Lendrum, C.F. Corvalan, K.L. Ebi, A. Githeko, J.D. Scheraga et A. Woodward. *Climate change and human health: risks and responses*, Organisation mondiale de la santé, 2003, 322 p., résumé du projet disponible à <http://whqlibdoc.who.int/publications/2003/9241590815.pdf>, [consultation : 18 janvier 2007].

Milburn, P., D.A. Legek, H. O'Neill, J.E. Richards, J.A. Macleod et K. Macquarrie. « Pesticide leaching associated with conventional potato and corn production in Atlantic Canada », *Water Quality Research Journal of Canada*, vol. 30, n° 3, 1995, pp. 383–397.

Miller, K. et D. Yates. *Climate Change and Water resources : A Primer for Municipal Water Providers*, American Water Works Research Foundation et University Corporation for Atmosphere Research, Denver, Colorado, 2006, 83 p., <http://www.isse.ucar.edu/water_conference/fulltext/ClimateChange_Final.pdf>, [consultation : 1 mai 2007].

Mills, B. et J. Andrey. *Climate change and transportation: potential interactions and impacts*, United States Department of Transportation, Center for Climate Change and Environmental Forecasting, 2003, <http://climate.volpe.dot.gov/workshop1002/mills.pdf>, [consultation : 22 novembre 2005].

Milly, P. C. D., K.A. Dunne et A.V. Vecchia. « Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate », *Nature*, vol. 438, 2005, pp. 347–350.

Mimura, N. «Vulnerability of island countries in South Pacific to sea level rise and climate change », *Climate Research*, vol. 12, 1999, pp. 137–143.

Ministère de la santé du Nouveau-Brunswick. *Santé et Mieux-être -Santé publique, 2005*, Ministère de la santé du Nouveau-Brunswick, 2005, <http://www.gnb.ca/0053/disprev/Flooding-f.asp>, [consultation : 8 novembre 2005].

Ministère de l'Environnement et Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick. *Politique de protection des zones côtières pour le Nouveau Brunswick*, Département de l'Environnement et Gouverneements locaux du Nouveau-Brunswick, 2002, <www.gnb.ca/0009/0371/0002/Coastal-F.pdf>, [consultation : 22 novembre 2005].

Ministere de l'Environnement de l'Ontario. *Stormwater management planning and design manual*, Ministère de l'Environnement de l'Ontario, Toronto (Ontario), 1999.

Mitchell, J.K. « European river floods in a changing world », *Risk Analysis*, vol. 23, n° 3, 2003, pp. 567–574.

Moola, F.M. et L. Vasseur. « Recovery of late-seral vascular plants in a chronosequence of post-clearcut forest stands in coastal Nova Scotia, Canada », *Plant Ecology*, vol. 172, n° 2, 2004, pp. 183–197.

Moore, D., R. Copes, R. Fisk, R. Joy, K. Chan et M. Brauer. « Population health effects of air quality changes due to forest fires in British Columbia in 2003: estimates from physician-visit billing data », *Revue canadienne de santé publique*, vol. 97, n° 2, 2006, pp. 105–108.

Morrow, B.H. « Identifying and mapping community vulnerability », *Journal of Disaster Studies*, Policy and Management, vol. 23, 1999, pp. 1–18.

Morrow-Jones, H.A. et C.R.Morrow-Jones. « Mobility due to natural disaster: theoretical considerations and preliminary analyses », *Disasters*, vol. 15, nº 2, 1991, pp. 126–132.

Mosaker, L. « Cod tolerate drops in temperature », *Fiskeriforskning*, 2005, <http://en.norut.no/norut_gruppen/nyheter/nyhetsarkiv/torsk_t_ler_temperaturfall>, [consultation : 22 mars 2006].

Mosseler, A., J.A. Lynds et J.E. Major. « Old-growth forests of the Acadian Forest Region », *Environmental Reviews*, vol. 11, nº S1, 2003a, pp. S47–S77.

Mosseler, A., J.E. Major et O.P. Rajora. « Old-growth red spruce forests as reservoirs of genetic diversity and reproductive fitness », *Theoretical and Applied Genetics*, vol. 106, 2003b, pp. 931–937.

Mosseler, A., J.E. Major, J.D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y.S. Park, K.H. Johnsen et O.P. Rajora. « Indicators of population viability in red spruce, Picea rubens, I. reproductive traits and fecundity », *Revue canadienne de botanique*, vol. 78, 2000, pp. 928–940.

Murakami, Y. et M. Ono. « Myocardial infarction deaths after high level exposure to particulate matter », *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 60, 2006, pp. 262–266.

Murphy, K., L. DeBaie, A. Monette, M. Mahoney et R. Daigle. « Baie de Shediac : coûts possibles des dommages causés par les ondes de tempêtes et les inondations côtières », dans *Impacts de l'élévation du niveau de la mer et du changement climatique sur la zone côtière du sud est du Nouveau-Brunswick*, Environnement Canada, 2006, 516 p., <http://www.adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/20061113_full_report_f.pdf>, [consultation : 17 janvier 2007].

Narayanan, S. « Current meter observations from Hamilton Bank and NE Newfoundland Shelf, 1990 to 1993 », *Pêches et Océans Canada, Rapport technique canadien d'hydrographie et des sciences océaniques*, nº 157, 1994, 184 p.

Narayanan, S., J. Carscadden, J.B. Dempson, M.F. O'Connell, S. Prinsenberg, D.G. Reddin et N. Shakell. « Marine climate off Newfoundland and its influence on Atlantic salmon (Salmo salar) and capelin (Mallotus villosus) », dans *Climate Change and Northern Fish Populations*, R.J. Beamish (éd.), Conseil national de recherches du Canada, Publication spéciale canadienne des sciences halieutiques et aquatiques, vol. 121, 1995, pp. 461–474.

Nederveen, A.A.J., J.W. Konings et J.A. Stoop. « Globalization, international transport and the global environment: technological innovation, policy making and the reduction of transportation emissions », *Transportation Planning and Technology*, vol. 26, nº 12, 2003, p. 41.

Newfoundland and Labrador Department of Finance. *Demographic Change*, Newfoundland and Labrador Department of Finance, Economics and Statistics Branch, 2007, <www.economics.gov.nl.ca/pdf2006/demographyupdate.pdf>, [consultation : 10 avril 2007].

Newfoundland and Labrador Environmental Industries Association. Submission to the Minister of Finance on the 2005–2006 budget, Newfoundland and Labrador Environmental Industries Association, 2005, <http://www.ncia.org/BulletinBoard/budgetpaper2005.pdf>, [consultation : 26 avril 2006].

Newfoundland and Labrador Fisheries and Aquaculture. Vessel development and design, Newfoundland and Labrador Fisheries and Aquaculture, 2006, <http://www.fishaq.gov.nl.ca/harvesting/vessels/vesseldev.stm>, [consultation : 10 avril 2006].

Nicholls, R.J. Case study on sea level impacts, Organisation pour la coopération économique et le dévelopment, 2003, <http://www.oecd.org/dataoecd/7/15/2483213.pdf>, [consultation : 18 janvier 2007].

Nicholls, R.J. et N. Mimura. « Regional issues raised by sea-level rise and their policy implications », *Climate Research*, vol. 11, nº 1, 1998, pp. 5–18.

Nicholson, P. *Hurricane Katrina: why did the levees fail?*, (témoignage donné au nom de la American Society of Civil Engineers devant le Committee on Homeland Security and Governmental Affairs, 2 novembre 2, 2005), United States Senate, Report 109-322, 2005, <http://www.gpoaccess.gov/serialset/creports/pdf/sr109-322/ch17.pdf>, [consultation : 18 janvier 2007].

Nielson, R.P., L.F. Pitelka, A.M. Solomon, R. Nathan, R.G.F. Midgley, J.M.V. Fragoso, H. Lischke et K. Thompson. « Forecasting regional to global plant migration in response to climate change », *Bioscience*, vol. 55, 2005, pp. 749–759.

Noji, E.K. (éd.). *The Public Health Consequences of Disasters*, Oxford University Press, New York, New York, 1997, 468 p.

Nova Scotia Department of Energy. *Energy strategy volumes: volume 2, part II oil and gas: energy and the fishery and the marine environment*, Nova Scotia Department of Energy, 2001, <http://www.gov.ns.ca/energy/AbsPage.aspx?id=1247&siteid=1&lang=1>, [consultation : 17 juin 2006].

Nova Scotia Department of Environment and Labour. *Research topics for protected areas in Nova Scotia*, Nova Scotia Department of Environment and Labour, Technical Note 03/02.2003, <www.gov.ns.ca/enla/protectedareas/docs/Tech_Note_research_topics.pdf>, [consultation : 17 juin 2006].

Nova Scotia House of Assembly. *Beaches Act: An Act to Preserve and Protect the Beaches of Nova Scotia*, Nova Scotia House of Assembly, 2000, <www.gov.ns.ca/legislature/legc/Statutes/beaches.htm>, [consultation : 22 avril 2006].

Nova Scotia Wind Energy Project. Nova Scotia Wind Energy Project (NSWEP), 2004, <http://nswep.electricalcomputerengineering.dal.ca/index_old.html>, [consultation : 27 avril 2006].

Ollerhead, J. *Évaluation du rétablissement de marais salants comme stratégie d'adaptation aux changements climatiques et à l'élévation du niveau marin dans la region des Maritimes, au Canada*, Ressources naturelles Canada, Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, résumé de projet, 2006, <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/index_f.php?class=115>, [consultation : 18 janvier 2007].

Ollerhead, J. et R.G.D. Davidson-Arnott. « The evolution of Bouctouche Spit, New Brunswick, Canada », *Marine Geology*, vol. 124, 1995, pp. 215–236.

Orford, J.D., R.W.G. Carter, S.C. Jennings et A.C. Hinton. « Processes and timescales by which a coastal gravel-dominated barrier responds geomorphically to sea-level rise: Story Head Barrier, Nova Scotia », *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 20, 1995, pp. 21–37.

Paone, L., N. Catto, D.L. Forbes et D. Liverman. Coastal hazard vulnerability, Conception Bay South–Holyrood, NL: impacts and adaptations to climate variability (résumé), présentation faite à l'occasion de la réunion annuelle conjointe de l'Association canadienne pour l'étude du Quaternaire et du Groupe canadien de recherche en géomorphologie, du 8 au 12 juin 2003, Halifax (Nouvelle-Écosse), 2003, <http://cgrg.geog.uvic.ca//abstracts/PaoneCoastalWith.html>, [consultation : 2 novembre 2005].

Parkes, G.S., D.L. Forbes et L.A. Ketch. « Sea-level rise », dans *Coastal Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise on Prince Edward Island*, D.L. Forbes et R.W. Shaw (éd.), Commission géologique du Canada, Dossier public 4261, 2002, 33 p.

Parkes, G.S., D.L. Forbes et L.A. Ketch. « Élévation du niveau de la mer et subsidence régionale », dans *Impacts de l'élévation du niveau de la mer et du changement climatique sur la zone côtiere du sud-est du Nouveau-Brunswick*, R. Daigle, D. Forbes, G. Parkes, H. Ritchie, T. Webster, D. Bérubé, A. Hanson, L. DeBaie, S. Nichols et L. Vasseur (éd.), Environnement Canada, 2006, 644 p., <http://www.adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/20061113_full_report_f.pdf> [consultation : 17 janvier 2007]

Parkes, G.S., L.A. Ketch, C.T. O'Reilly, J. Shaw et A. Ruffman. « The Saxby Gale of 1869 in the Canadian Maritimes: a case study of flooding potential in the Bay of Fundy » (résumé), dans *23rd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology*, Committee on Tropical Meteorology and Tropical Cyclones, American Meteorological Society, 79e réunion annuelle, du 10 au 15 janvier, Dallas, Texas, préimpressions, vol. II, Paper 11A.2, 1999, pp. 791–794.

Parks, J.J. *Ladaptation aux changements climatiques pour les planificateurs de l'aménagement du territoire*, Ressources naturelles Canada, Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, résumé de projet, 2006, <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/index_f.php?class=116>, [consultation : 18 janvier 2007].

Parson, E.A., R.T.W. Corell, E.J. Barron, V. Burkett, A. Janetos, L. Joyce, T.R. Karl, M.C. MacCracken, J. Melillo, M.G. Morgan, D.S. Schimel et T. Wilbanks. « Understanding climatic impacts, vulnerabilities and adaptation in the United States: building a capacity for assessment », *Climatic Change*, vol. 57, 2003, pp. 9–42.

Parsons, K. et L. Hermanutz. « Breeding system variation, potential hybridization and conservation of rare, endemic braya species (Brassicaceae) », *Biological Conservation*, vol. 128, nº 2, 2006, pp. 201–214.

Pêches et Océans Canada. *Ports pour petits bateaux*, Pêches et Océans Canada, 2006, <http://www.dfo-mpo.gc.ca/sch/home-accueil_f.html>, [consultation : 29 juin 2006].

Peddle, P. Badger flood, February 15, 2003 (présentation), Newfoundland and Labrador Fire and Emergency Services, 2004, <http://www.crhnet.ca/docs/presentations/Paul-Peddle.pdf>, [consultation : 29 juin 2006].

Pelling, M. et C. High. « Understanding adaptation: what can social capital offer assessments of adaptive capacity? », *Global Environmental Change*, partie A, vol. 15, nº 4, 2005, pp. 308–319, <http://libeprints.open.ac.uk/archive/00000074/>, [consultation : 29 juin 2006].

Petersen, I. *Long-range forecasting of iceberg numbers on the Grand Banks*, Pêches et Océans Canada, 2005, <http://www.mar.dfo-mpo.gc.ca/science/ocean/seaice/Pictures/Icebergs/IcebergForecast05Peterson.pdf>, [consultation : 7 octobra 2006].

Petersen, M.F. et J.F. Steffensen. « Preferred temperature of juvenile Atlantic cod Gadus morhua with different haemoglobin genotypes at normoxia and moderate hypoxia », *Journal of Experimental Biology*, vol. 206, 2003, pp. 359–364.

Picco, R., A.A. Khan et K. Rollings. *Badger flood 2003 situation report*, Newfoundland and Labrador Department of Environment, Water Resources Management Division, 2003, <http://www.env.gov.nl.ca/env/env/waterres/Reports/Reports.asp>, [consultation : 18 janvier 2007].

Pielke, R.A., C. Landsea, M. Mayfield, J. Laver et R. Pasch. « Hurricanes and global warming », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 86, 2005, pp. 1571–1575.

Pittman, D. et N.R. Catto. « Newfoundland's coastal dunes as geoindicators », dans *Geoindicators for Ecosystem Monitoring in Parks and Protected Areas*, A.R. Berger et D.G. Liverman (éd.), Parcs Canada, *Ecosystem Science Review Reports*, n° 018, 2001, pp. 43–51.

Post, E. et N.C. Stenseth. « Climatic variability, plant phenology and northern ungulates », *Ecology*, vol. 80, n° 4, 1999, pp. 1322–1339.

Potter, J.R. « The Potential Impacts of Climate Change on Transportation », résumé d'un atelier dans Strategic Plan for the United States Climate Change Science Program, Climate Change Science Program et Subcommittee on Global Change Research, Washington (DC), 2003, <http://www.climatescience.gov/Library/stratplan2003/final/default.htm>, [consultation : 29 juin 2006].

Powell, B.J. et E.C. Penick. « Psychological distress following a natural disaster: a one-year follow-up of 98 flood victims », *Journal of Community Psychology*, vol. 11, n° 3, 1983, pp. 269–276.

Price, D.T., D.W. McKenney, D. Caya et H. Côté. *Transient climate change scenarios for high resolution assessment of impacts on Canada's forest ecosystems*, rapport rédigé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, juillet 2001, 42 p.

Prince Edward Island Eco-Net. *Tourism operations hit with bad water* (March 4, 2003), PEI Eco-Net E-News, du 3 au 7mars 2003, <http://www.isn.net/~network/03-03-07.html>, [consultation : 29 juin 2006].

Ressources naturelles Canada. *Gaz naturel canadien : revue de 2002 et perspectives à 2015*, Ressources naturelles du Canada, Direction des ressources pétrolières, Division du gaz naturel, 2003a, 61 p., <http://www2.nrcan.gc.ca/es/erb/CMFiles/LandscapeFormat_[FRENCH]176IHT-19122003-8174.pdf>, [consultation : 17 juin 2006].

Ressources naturelles Canada. *La tempête de verglas de 1998*, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, 2003b, <http://www.health.cfs.nrcan.gc.ca/MixedwoodPlains/iceStorm_f.html>, [consultation : 17 juin 2006].

Ressources naturelles Canada. *Répartition de l'eau douce, Atlas du Canada*, Ressources naturelles Canada, 2006a, <http://atlas.nrcan.gc.ca/site/français/maps/freshwater/distribution/1/topictext_view>, [consultation : 26 juin 2006].

Ressources naturelles Canada. *Cours d'eau qui se déversent dans l'océan Atlantique, Atlas du Canada*, Ressources naturelles Canada, 2006b, <http://atlas.gc.ca/site/français/learningresources/facts/rivers.html1/document_view atlantic>, [consultation : 26 juin 2006].

Ressources naturelles Canada. *Élévation du niveau de la mer et érosion littorale*, Ressources naturelles Canada, affiche, 2006c, <http://adaptation.nrcan.gc.ca/posters/ac/ac_11_f.php>, [consultation : 14 mai 2007].

Richards, K.W. et P.G. Kevan. « Aspects of bee biodiversity, crop pollination, and conservation in Canada », dans *Pollinating Bees — The Conservation Link between Agriculture and Nature*, P. Kevan et V.L. Imperatriz Fonseca (éd.), Ministère de l'environnement du Brésil, Brasilia (Brésil) 2002, pp. 77–94.

Rivard, C., J. Marion, Y. Michaud, S. Benhammane, A. Morin, R. Lefebvre et A. Rivera. *Étude de l'impact potentiel des changements climatiques sur les ressources en eau souterraine dans l'Est du Canada*, Commission géologique du Canada, Dossier public 1577, 2003.

Robichaud, A.G. *January 2000 storm surge*, Commission de district d'aménagement Beaubassin, Cap-Pelé (Nouveau-Brunswick), rapport inédit, 2000.

Rose, G.A. «Capelin (Mallotus villosus) distribution and climate: a sea 'canary' for marine ecosystem change », *ICES Journal of Marine Science*, vol. 62, 2005, pp. 1524–1530.

Rosenzweig, C., A. Iglesias, X.B. Yang, P.R. Epstien et E. Chivian. *Climate change and United States agriculture: the impacts of warming and extreme weather events on productivity, plant diseases and pests*, Centre for Health and the Global Environment, Harvard Medical School, Boston, Massachusetts, 2000.

Ruffman, A. « Comment on 'The great Newfoundland storm of 12 September 1775' by Anne E. Stevens and Michael Staveley », *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 85, 1995, pp. 646–649.

Runkle, J.R. « Disturbance regimes in temperate forests », dans *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*, S.T.A. Pickett et P.S. White (éd.), Academic Press, New York, New York, 1985, pp. 17–33.

Sabine, D.-L. et S.E. Morrison. « Migration behaviour of white-tailed deer under varying winter climate regimes in New Brunswick », *Journal of Wildlife Management*, vol. 66, 2002, pp. 718–728.

Santé Canada. *The burden of asthma and other chronic respiratory diseases in Canada*, Santé Canada, Direction de la protection de la santé, Division des maladies respiratoires, 1998.

Santé Canada. *La santé et les changements climatiques : Recueil d'information pour les professionnels de la santé*, Santé Canada, Bureau du changement climatique et la santé, Programme de la sécurité des milieux, livre et cédérom contenant des documents d'information, fiches de renseignements et études de cas, 2005.

Savard, M. *Consequences of climate changes on contamination of drinking water by nitrates on Prince Edward Island*, Ressources naturelles Canada, Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, résumé de projet, 2006, <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/index_e.php?class=118>, [consultation : 18 janvier 2007].

Schindler, D.W. « The cumulative effects of climate warming and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 58, 2001, pp. 18–29.

Schmidt-Thomé, P., S. Greiving, H. Kallio, M. Fleischhauer et J. Jarva. « Economic risk maps of floods and earthquakes for European regions », *Quaternary International*, vol. 150, 2006a, pp. 103–112.

Schmidt-Thomé, P., M. Viehhauser et M. Staudt. « A decision support frame for climate change impacts on sea level and river runoff: case studies of the Stockholm and Gdansk areas in the Baltic Sea region », *Quaternary International*, vol. 145-146, 2006b, pp. 135–144.

Schwartz, M.D. et B.E. Reiter. « Changes in North American spring », *International Journal of Climatology*, vol. 20, 2000, pp. 929–932.

Scott, D.B. et D.A. Greenberg. « Relative sea level rise and tidal development in the Fundy tidal systems », *Revue canadienne des sciences de la Terre*, vol. 20, 1983, pp. 1554–1564.

Scott, D.B. et R. Suffling. *Climate change and Canada's National Park System: a screening level assessment*, Environnement Canada, Groupe de recherche sur l'adaptation et les impacts, n° de catalogue En56-155/2000E, 2000, 183 p.

Scott, D.B., J.R. Malcolm et C. Lemieux. « Climate change and modelled biome representation in Canada's national park system: implications for system planning and park mandates », *Global Ecology and Biogeography*, vol. 11, n° 6, 2002, pp. 475–484.

Scott, D.B., G. McBoyle et G. Mills. « Climate change and the skiing industry in southern Ontario (Canada): exploring the importance of snowmaking as a technical adaptation », *Climate Research*, vol. 23, 2003, pp. 171–181.

Seymour, R.S. « The red spruce–balsam fir forest of Maine: evolution of silvicultural practice in response to stand development patterns and disturbance », dans *The Ecology and Silviculture of Mixed-Species Forests*, C. Oliver (éd.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Pays-Bas, 1992, pp. 217–244.

Shabbar, A. B. Bonsal. « An assessment of changes in winter cold and warm spells over Canada », *Natural Hazards*, vol. 29, 2003, pp. 173–188.

Shapiro, L.J. et S.B. Goldenberg. « Atlantic sea surface temperatures and tropical cyclone formation », *Journal of Climate*, vol. 11, 1998, pp. 578–590.

Shaw, J. *Adaptation à la hausse du niveau de mer dans le Bras d'Or, la plus grande mer intérieure du Canada*, Ressources naturelles Canada, Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, résumé de projet, 2006, <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/index_f.php?class=115>, [consultation : 18 janvier 2007].

Shaw, J. et J. Ceman. «Salt-marsh aggradation in response to late-Holocene sea-level rise at Amherst Point, Nova Scotia, Canada ». *The Holocene*, vol. 9, 1999, pp. 439–451.

Shaw, J., P. Gareau et R.C. Courtney. « Palaeogeography of Atlantic Canada 13-20 kyr », *Quaternary Science Reviews*, vol. 21, 2002, pp. 1861–1878.

Shaw, J., R.B. Taylor et D.L. Forbes. « Impact of the Holocene transgression on the Atlantic coastline of Nova Scotia », *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 47, 1993, pp. 221–238.

Shaw, J., R.B. Taylor, D.L. Forbes, M.-H. Ruz et S. Solomon. « Susceptibility of the Canadian coast to sea-level rise », dans *Coastal Zone Canada 1994. Co-operation in the Coastal Zone*, P.G. Wells et P.J. Ricketts (éd.), Institut océanographique de Bedford, compte-rendu, vol. 5, résumé 2377, 1994.

Shaw, J., R.B. Taylor, D.L. Forbes et S. Solomon. « Sea level rise in Canada », dans *A Synthesis of Geological Hazards in Canada*, G.R. Brooks (éd.), Commission géologique du Canada, Bulletin 548, 2001, pp. 225–226.

Shaw, J., R.B. Taylor, D.L. Forbes, S. Solomon et M.-H. Ruz. *Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise*, Commission géologique du Canada, Bulletin 505, 1998.

Shrubsole, D., G. Brooks, R. Halliday, E. Haque, A. Kumar, J. Lacroix, H. Rasid, L. Rousselle et S.P. Simonovic. « An assessment of flood risk management in Canada », Institut de prevention des sinistres catastrophiques, *Research Paper Series*, n° 28, 2003, <www.iclr.org/pdf/ICLR_%20Flood%20Report.pdf>, [consultation : 28 janvier 2007].

Simberloff, D. « Global climate change and introduced species in United States forests », *The Science of the Total Environment*, vol. 262, 2000, pp. 253–261.

Stare, B., B. Thompson, S. Ferguson, E. Simms, R. DeAbreu et J. Lamp. *Understanding the impacts of climate change on arctic sea ice conditions: a community based research initiative — landfast ice and ringed seal productivity*, Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, rapport inédit, 2006.

Slaney, K. *Wetlands within the Torbay municipal boundary*, Memorial University, Environmental Science, rapport de recherche inédit, 2006.

Smit, B. et O. Pilifosova. « From adaptation to adaptive capacity and vulnerability reduction », dans *Climate Change, Adaptive Capacity, and Development*, J. Smith, R.T.J. Klein et S. Huq (éd.), Imperial College Press, Londres, Royaume-Uni, 2003, pp. 9–28.

Smith, I.R., T. Bell et M.A.P. Renouf. « Testing a proposed Late Holocene sea-level oscillation using the 'Isolation Basin' approach, Great Northern Peninsula, Newfoundland », *Newfoundland and Labrador Studies*, vol. 20, 2005, pp. 33–55.

Smith, L., N.R. Catto, D. Liverman et D. Forbes. *Coastal hazard vulnerability. Conception Bay South–Holyrood, NL: impacts and adaptations to climate variability* (résumé), Coastal Zone Canada 2004, 2004.

Smith, L., D. Liverman, N.R. Catto et D. Forbes. *Coastal hazard vulnerability as a geoindicator, Avalon Peninsula, Newfoundland, Canada* (résumé), Congrès de l'Union géologique internationale, Florence, Italie, 2004.

Snaith, T. et K. Beazley. « The distribution, status and habitat associations of moose in mainland Nova Scotia », *Proceedings of the Nova Scotian Institute of Science*, vol. 42, 2004, pp. 263–317.

Somers, G.H. et I.P. Mutch. *Results of an investigation into the impact of irrigation wells on groundwater availability in the Baltic area*, Prince Edward Island Department of Fisheries and Environment, 1999, <http://www.gov.pe.ca/photos/original/balticstudy.pdf>, [consultation : 27 avril 2006].

Soskolne, C.L. « On the even greater need for precaution under global change », *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, vol. 17, 2004a, pp. 69–76.

Soskolne, C.L. et N. Broemling. « Eco-epidemiology: on the need to measure health effects from global change », *Global Change and Human Health*, vol. 3, n° 1, 2002, pp. 58–66.

Sowder, B.J. *Disasters and mental health: selected contemporary perspectives*, United States Government Printing Office, Washington (DC), DHHS Publication n°. ADM 85-1421, 1985.

Special Committee on Climate Change. *A climate change strategy for Prince Edward Island*, Government of Prince Edward Island, deuxième rapport de la Deuxième séance de la 62e Assemblée générale, 2005, <http://www.assembly.pe.ca/reports/2-2-62climate.pdf>, [consultation : 22 novembre 2005].

Statistique Canada. *Recensement de l'agriculture de 2001*, Statistique Canada, 2001a, <http://www.statcan.ca/français/agcensus2001/index_f.htm>, [consultation : 29 juin 2006].

Statistique Canada. *Profil des communautés de 2001*, Statistique Canada, 2001b, <http://www12.statcan.ca/english/Profil01/CP01/Index.cfm?Lang=F>, [consultation : 26 novembre 2006].

Statistique Canada. *Gross domestic product (GDP) at basic prices, by North American Industry Classification System (NAICS) and province, annual (dollars)* (4366 series), Statistique Canada, Tableau 379-0025, 2004, <http://cansim2.statcan.ca/cgi-win/CNSMCGI.EXE?Lang=E&ArrayId=379-0025&Array_Pick=1&Detail=1&ResultTemplate=CII/CII_&RootDir=CII/>, [consultation : 10 avril 2007].

Statistique Canada. *Population selon le sexe et le groupe d'âge, par province et territoire*, Statistique Canada, 2005a, <http://www40.statcan.ca/l02/cst01/demo31a_f.htm>, [consultation : 22 janvier 2006].

Statistique Canada. *Population par année, par province et territoire*, Statistique Canada, 2005b, <http://www40.statcan.ca/l02/cst01/demo02_f.htm>, [consultation : 25 avril 2006].

Statistique Canada. *Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement*, Statistique Canada, 2005c, <http://pubmap.on.ec.gc.ca/cesi/docs2005/full_report_f.htm>, [consultation : 29 juin 2006].

Stephenson, D.B., V. Pavan, M. Collins, M.M. Junge et R. Quadrelli. « North Atlantic Oscillation response to transient greenhouse gas forcing and the impact on European winter climate: a CMIP2 multi-model assessment », *Climate Dynamics*, vol. 27, n° 4, 2006, pp. 401–420.

Stevens, A.E. « Reply to comments on 'The Great Newfoundland storm of 12 September 1775' », *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 85, 1995, pp. 650–652.

Stevens, A.E. et M. Staveley. « The Great Newfoundland storm of 12 September 1775 », *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 81, 1991, pp. 1398–1402.

St. George, S. *Streamflow in the Winnipeg River basin: trends, extremes and climate linkages* (résumé); conférence de l'Association canadienne des géographes, Lakehead University, Thunder Bay (Ontario), résumés, 2006, p. 86.

Sugi, M., A. Noda et N. Sato. « Influence of the global warming on tropical cyclone climatology: an experiment with the JMA Global Model », *Journal of the Meteorological Society of Japan*, vol. 80, 2002, pp. 249–272.

Swail, V.R. « Analysis of climate variability in ocean waves in the northwest Atlantic Ocean », dans *Climate change and climate variability in Atlantic Canada*, R.W. Shaw (éd.), Environnement Canada, Région de l'Atlantique, Publication hors-série n° 9, 1997, pp. 313–317.

Swansburg, E., G. Chaput, D. Moore, D. Cassie et N. El-Jabi. « Size variability of juvenile Atlantic salmon: links to environmental conditions », *Journal of Fish Biology*, vol. 61, 2002, pp. 661–683.

Taylor, P. *Gestion des populations d'oiseaux chanteurs migrateurs face aux changements climatiques*, Ressources naturelles Canada, Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, résumé de projet, 2006, <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/index_f.php?class=126>, [consultation : 19 janvier 2007].

Taylor, R.B., D.L. Forbes, D. Frobel, J. Shaw et G. Parkes. « Shoreline response to major storm events in Nova Scotia », dans *Climate Change and Climate Variability in Atlantic Canada*, R.W. Shaw (éd.), Environnement Canada, Région de l'Atlantique, Publication hors-série n° 9, 1996a, pp. 253–267.

Taylor, R.B., D.L. Forbes, D. Frobel, J. Shaw et G. Parkes. *Hurricane Hortense strikes Atlantic Nova Scotia: an examination of beach response and recovery*, Commission géologique du Canada, Dossier public 3505, 1997.

Taylor, R.B., H. Josenhans, B.A. Balcom et A.J.B. Johnston. *Louisbourg harbour through time*, Commission géologique du Canada, Dossier public 3896, 2000.

Taylor, R.B., J. Shaw, D.L. Forbes et D. Frobel. *Eastern shore of Nova Scotia: coastal response to sea-level rise and human interference*, Commission géologique du Canada, Dossier public 3244, 1996b.

Taylor, R.B., S.L. Wittman, M.J. Milne et S.M. Kober. *Beach morphology and coastal changes at selected sites, mainland Nova Scotia*, Commission géologique du Canada, Étude 85-12, 1985.

Taylor, T. *Coastal land management, town of Conception Bay South*, thèse de baccalauréat, Memorial University, St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador), 1994.

Thomas, M.K., D.F. Charron, D. Waltner-Toews, J. Holt et A.R. Maarouf. « The role of high impact weather in waterborne disease outbreaks in Canada », *International Journal of Environmental Health Research*, vol. 16, n° 3, 2005, pp. 167–180.

Thompson, K., J. Bobanovic et T. Crowtz. *DALhousie COASTal Ocean Prediction System, 2005*, <http://www.phys.ocean.dal.ca/~dalcoast/Dalcoast1/exper/index.html>, [consultation : 9 novembre 2005].

Thompson, K., H. Ritchie, N. Bernier, J. Bobanovic, S. Desjardins, P. Pellerin, W. Blanchard, B. Smith et G. Parkes. « Modelling storm surges and flooding risk at Charlottetown », annexe 2 dans *Coastal Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise on Prince Edward Island*, rapport sur le projet A041 du Fonds d'action pour le changement climatique, 2001, <http://www.adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/coastal2_e.pdf>, [consultation : 19 janvier 2007].

Topliss, B.J. « Within the bounds of the NAO: Canada-UK inter-relations of temperature and rainfall: implications for agriculture and oceanography? », dans *Climate Change and Climate Variability in Atlantic Canada*, R.W. Shaw (éd.), Environnement Canada, Région de l'Atlantique, publication hors-série n° 9, 1997, pp. 208–212.

Transports Canada. *Impacts des changements climatiques sur les transports au Canada*, rapport final de l'atelier de Transports Canada à Canmore, 2003, 26 p., <http://www.tc.gc.ca/programmes/environnement/anrect/docs/rapports/Rapportsurlatelierfinal.pdf>, [consultation : 2 juin 2006].

Transports Canada. *Les transports au Canada 2004*, Transports Canada, Rapport annuel, 2004, 94 p., <http://www.tc.gc.ca/pol/fr/rapport/anre2004/tc2004af.pdf>, [consultation : 30 juin 2006].

Trenberth, K.E. « Uncertainty in hurricanes and global warming », *Science*, vol. 308, 2005, pp. 1753–1754.

Trenberth, K.E., A.G. Dai, R.M. Rasmussen et D.B. Parsons. « The changing character of precipitation », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 84, 2003, pp. 1205–1217.

University of British Columbia Okanagan. *Health, safety and workload challenges of the Okanagan Mountain Fire 2003*, University of British Columbia Okanagan, Faculty of Health and Social Development, School of Nursing, rapport remis à la Vancouver Foundation, 2005, <http://web.ubc.ca/okanagan/firestudy.pdf>, [consultation : 19 janvier 2007].

University of Washington. Fire/smoke health workshop, Health Research Working Group activities and conclusions, University of Washington, 2001, <http://depts.washington.edu/wildfire/resources/Research_Workgp_Summary.doc>, [consultation : 19 janvier 2007].

Uyarra, M.C., I.M. Côté, J.A. Gill, R.R.T. Tinch, D. Viner et A.R. Watkinson. « Island-specific preferences of tourists for environmental features: implications of climate change for tourism-dependent states », *Environmental Conservation*, vol. 32, n° 1, 2005, pp. 11–19.

Vasseur, L., O. Chouinard, K. Delusca, L. Dehaie et K. Murphy. « Chapter 4.9 — Building adaptive capacity », dans *Impacts de l'élévation du niveau de la mer et du changement climatique sur la zone côtière du sud-est du Nouveau-Brunswick*, R. Daigle, D. Forbes, G. Parkes, H. Ritchie, T. Webster, D. Bérubé, A. Hanson, L. DeBaie, S. Nichols et L. Vasseur (éd.), Environnement Canada, 2006, 644 p., <http://www.adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/20061113_full_report_f.pdf> [consultation : 17 janvier 2007].

Vasseur, L., R. Guscott et P. Mudie. « Monitoring of spring flower phenology in Nova Scotia: trends for the last century », *Northeastern Naturalist*, vol. 8, 2001, pp. 393–402.

Viscusi, K. « The value of risks to life and health », *Journal of Economic Literature*, vol. 31, 1993, pp. 1912–1946.

Wall, E., B. Smit et J. Wandel. *Canadian agri-food sector adaptation to risks and opportunities from climate change*, Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation, 2004, <http://www.c-ciarn.uoguelph.ca/documents/c-ciarn-ag-position-paper.pdf>, [consultation : 19 janvier 2007].

Wallis, P.M., S.L. Erlandsen, J.L. Isaac-Renton, M.E. Olson, W.J. Robertson et H. van Keulen. « Prevalence of giardia cysts and cryptosporidium oocysts and characterization of Giardia sp. isolated from drinking water in Canada », *Applied Environmental Microbiology*, vol. 62, 1996, pp. 2789–2797.

Watt, W.E. *Hydrologie des crues au Canada : guide de planification et de conception*, Conseil national de recherches du Canada, Comité associé d'hydrologie, 1989, 277 p.

Watt, W.E., D. Waters et R. McLean. Climate change and urban stormwater infrastructure in Canada: context and case studies, Toronto-Niagara Region Study on Climate and Atmospheric Change, Report and Working Paper Series, Rapport 2003-1, 2003, <http://www.c-ciarn.ca/app/filerepository/5C44D21CA82F4995B671D7100A8C738D.pdf>, [consultation : 19 janvier 2007].

Webb, T. « Eastern Canada Natural Food Co-ops See Growth, Threats », *Cooperative Grocer*, vol. 103, 2002, <http://www.cooperativegrocer.coop/articles/index.php?id=381>, [consultation : 11 mai 2007].

Webster, P.J., G.J. Holland, J.A. Curry et H.-R. Chang. « Changes in tropical cyclone number, duration and intensity in a warming environment », *Science*, vol. 309, 2005, pp. 1844--1846.

Wein, R.W. et J.M. Moore. « Fire history and recent fire rotation periods in the Nova Scotia Acadian forest », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol .9, 1979, pp. 166–178.

Wohl, E.E. (éd.) *Inland Flood Hazards*, Cambridge University Press, Cambridge (Royaume-Uni), 2000, 498 p.

Wright, G. *Coastline classification and geomorphic processes at Ferryland beach*, thèse de baccalauréat, Memorial University, St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador), 2004.

Yevdokimov, Y.V. *Modelling potential changes in demand for freight transportation in Atlantic Canada due to climate change impacts*, Ressources naturelles Canada, Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, rapport final, 2003, <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/131_e.pdf>, [consultation : 19 janvier 2007].

Zhang, X., K.D. Harvey, W.D. Hogg et T.R. Yuzyk. « Trends in Canadian streamflow », *Water Resources Research*, vol. 37, 2001, pp. 987–998.

Zimmerman, R. et M. Cusker. Institutional decision-making, chapitre 9 et annexe 10 dans *Climate Change and a Global City: The Potential Consequences of Climate Variability and Change. Metro East Coast*, C. Rosenzweig et W.D. Solecki (éd.), Columbia Earth Institute, New York, New York, 2001, pp. 9-1–9-25 et A11–A17.

CHAPITRE 5
Québec

Auteurs principaux:
Alain Bourque[1] et Guillaume Simonet[1]

Collaborateurs principaux :
Michel Allard (Université Laval/Ouranos), Gilles Boulet (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec), Christopher Bryant (Université de Montréal), Diane Chaumont (Ouranos), Claude Desjarlais (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec/Ouranos), Pierre Gosselin (Institut national de santé publique du Québec/Ouranos), Daniel Houle (Ministère des Ressources naturelles du Québec/Ouranos), Jacinthe Lacroix (Environnement Canada), Nancy Lease (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec/Ouranos), Daniel Martin (Institut national de santé publique du Québec), François Morneau (Ministère de la Sécurité publique du Québec/Ouranos), Anh Thu Pham (Ouranos), René Roy (Hydro-Québec/Ouranos), Jean-Pierre Savard (Ouranos), Luc Vescovi (Ouranos), Claude Villeneuve (Université du Québec à Chicoutimi), Abderrahmane Yagouti (Ouranos)

Notation bibliographique recommandée :

Bourque, A. et G. Simonet. « Québec », dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éditeurs), Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, pp. 171-226.

---

[1] Ouranos, Montréal (Québec)

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 175

2 LE QUÉBEC EN ÉVOLUTION 176
- 2.1. Population 176
- 2.2. Activité socio-économique 177
  - 2.2.1. Économie 177
  - 2.2.2. Évolution sociale 178
- 2.3. Environnement 178
  - 2.3.1. Environnement bâti 178
  - 2.3.2. Environnement naturel 179
  - 2.3.3. Climat 179

3 SENSIBILITÉS, IMPACTS ET ADAPTATION 183
- 3.1. Sous-région nord 184
- 3.2. Sous-région centrale 186
  - 3.2.1. Forêts 186
  - 3.2.2. Production hydroélectrique 188
- 3.3. Sous-région maritime 190
- 3.4. Sous-région sud 192
  - 3.4.1. Énergie 192
  - 3.4.2. Agriculture 193
  - 3.4.3. Gestion de l'eau 195
  - 3.4.4. Tourisme et loisirs 199
  - 3.4.5. Transports 200
  - 3.4.6. Contexte particulier à sous-région sud 200
- 3.5. Autres enjeux intégrés à l'échelle de la province 201
  - 3.5.1. Sensibilités et adaptation des populations 202
  - 3.5.2. Sensibilités et adaptation des activités socio-économiques 208
  - 3.5.3. Sensibilités et adaptation de l'environnement naturel et bâti 209

4 SOMMAIRE ET CONCLUSION 215

5 REMERCIEMENTS 218

RÉFÉRENCES 219

PRINCIPALES CONCLUSIONS

Le changement climatique aura de nombreux impacts sur l'environnement, la population et les activités socio-économiques. Au Québec, ces impacts évolueront selon les sensibilités propres aux régions; leur ampleur et leur coût iront vraisemblablement en augmentant avec le temps. Voici les principales conclusions :

L'ampleur et la sévérité des impacts du changement climatique est en bonne partie fonction de l'évolution des conditions démographiques, socio-économiques et environnementales. Ainsi, outre le changement climatique comme tel, l'analyse des impacts anticipés doit également inclure l'analyse des facteurs qui toucheront la vulnérabilité de chacune des sous-régions. Dès lors, il est intéressant de noter que :

- de 1960 à 2003, le Québec méridional a connu un réchauffement variant entre 0,5 °C et 1,2 °C dans l'ouest et le centre, et un réchauffement inférieur à 0,5 °C dans l'est. Un lent refroidissement a été remplacé par un soudain réchauffement avoisinant 2 °C depuis 1993 sur l'Arctique québécois;
- malgré les incertitudes, l'utilisation de modèles climatiques toujours plus performants permet de produire des scénarios climatiques détaillés pour plusieurs paramètres et plusieurs régions qui pointent tous vers des changements tendanciels importants du système climatique;
- la croissance de la population ralentit et on assiste à un vieillissement de plus en plus important, sauf dans les communautés amérindiennes et inuites. Dans les régions, on assiste à un phénomène de dépopulation, principalement au profit des couronnes de banlieue et des zones périurbaines des centres métropolitains dans le sud du Québec, favorisant un étalement urbain au détriment de terres à fort potentiel agricole;
- bien que l'état de santé général s'améliore, l'évolution future sur ce plan est incertaine en raison de plusieurs facteurs, les populations à risque devenant pour leur part de plus en plus vulnérables;
- l'économie du Québec en croissance est aujourd'hui majoritairement à caractère tertiaire et largement imbriquée dans l'économie continentale et mondiale. Par contre, les infrastructures sont vieillissantes et largement exposées aux aléas climatiques. De plus, de nombreuses collectivités en région sont dépendantes des ressources naturelles et donc très vulnérables à ces mêmes aléas climatiques.

C'est dans la sous-région nord que sont anticipés les plus importants effets du changement climatique en valeur absolue. Ceux-ci viendront complexifier les problèmes que connaît déjà la sous-région par rapport, entre autres, à la forte exposition des collectivités aux risques naturels, à la dépendance de nombreuses infrastructures essentielles, à l'accès aux ressources et aux modes de vie traditionnels étroitement reliés à l'environnement naturel actuel. Les écosystèmes terrestres et aquatiques ont commencé à changer, notamment dans leur structure à cause de la dégradation du pergélisol, de la formation de cuvettes et de mares de thermokarst, de l'expansion des populations arbustives et des déplacements des populations fauniques.

Le changement climatique viendra modifier l'environnement naturel avec des implications potentiellement significatives là où l'exploitation des ressources naturelles est au cœur de l'activité économique. En effet, paysage, hydrologie et géomorphologie des cours d'eau, répartition de la faune et de la flore, de même que biodiversité régionale, pourraient tous subir de profondes mutations, particulièrement là où les pressions anthropiques sont déjà fortes. Par contre, cela pourrait avoir un certain effet bénéfique à cause d'une hausse anticipée de la productivité de certains secteurs tels que l'hydroélectricité et la forêt. Toutefois, ces scénarios demeurent incertains pour plusieurs raisons : manque de données, tendances historiques contradictoires, processus mal compris, incertitudes reliées aux outils utilisés, ou encore effets de marché à l'échelle du continent.

La sous-région maritime, dont la côte est fortement exposée à l'hydrosphère, assistera vraisemblablement à une accentuation de l'érosion des berges le long de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, là où se situent justement les principales zones socio-économiques. L'élévation du niveau de la mer, la disparition progressive de l'englacement, la géologie de certaines côtes et les régimes possiblement changeants des tempêtes semblent en effet se conjuguer pour entraîner une intensification du processus naturel d'érosion, fragilisant l'environnement bâti, les attraits touristiques et la qualité de vie de nombreuses collectivités de cette sous-région fortement dépendante de son accès maritime.

Pour la sous-région sud, une augmentation de fréquence, d'intensité ou de durée des phénomènes climatiques extrêmes représenterait des risques accrus pour l'environnement bâti vieillissant, les populations vulnérables et les collectivités vivant dans des zones exposées aux risques naturels. Des événements météorologiques du passé ont démontré la forte dépendance des collectivités urbaines et rurales à l'égard des infrastructures d'approvisionnement en eau, en énergie et de transport exposées aux aléas climatiques. Par ailleurs, un adoucissement des hivers et une « tropicalisation » des étés signifieraient une évaporation accrue des eaux naturelles, risquant d'envenimer des conflits d'usages de la ressource et une fragilisation des terres humides dépendantes du régime des crues. Plusieurs espèces menacées, aux habitats fragmentés et à faible capacité migratoire, déjà soumises à divers stress, courent également de grands risques. Par contre, le changement climatique pour cette sous-région pourrait également avoir pour effet des économies (demande réduite en énergie) et présenter des occasions de mise en valeur (productivité végétale accrue) se traduisant par des gains de plusieurs centaines de millions de dollars par année.

L'adaptation au changement climatique offre de nombreuses pistes de solutions permettant l'atténuation substantielle des impacts négatifs. Les sociétés humaines qui se sont de tous temps montrées aptes à s'adapter à la variabilité climatique, semblent une nouvelle fois capables de surmonter les obstacles à l'adaptation au changement climatique, laquelle repose sur les éléments suivant: déterminer et comprendre les enjeux prioritaires; acquérir et communiquer les données et les informations dont ont besoin les acteurs de l'adaptation; développer et appliquer les techniques ou les technologies optimales; modifier ou adapter les politiques et les normes ainsi que les structures organisationnelles; et tenir compte des incertitudes émergentes dans la prise de décisions. Le Québec dispose d'une grande capacité d'adaptation, notamment grâce à une économie de savoir toujours plus diversifiée. Quant à l'environnement naturel, il s'adapte surtout de façon spontanée et autonome, et les systèmes humains pourront contribuer à faciliter cette adaptation. Bien que l'adaptation semble une option de plus en plus incontournable, les limites et les coûts en sont généralement peu connus, notamment à long terme. Dès lors, l'adaptation devrait impérativement être accompagnée de réductions des émissions de gaz à effet de serre afin d'attaquer le problème à sa source et de minimiser les « mauvaises surprises » que le climat pourrait réserver pour l'avenir.

1 INTRODUCTION

L'objectif du présent chapitre est de mettre à jour les évaluations existantes (Environnement Canada, 1997; Ouranos, 2004; Lemmen et Warren, 2004) en matière de sensibilités, d'impacts et d'adaptation au changement climatique afin de contribuer à la compréhension et à la recherche de pistes de solutions au phénomène, en présentant une synthèse des informations concernant le Québec.

La figure 1 présente la problématique des impacts et montre comment les conditions atmosphériques peuvent toucher directement ou indirectement, subtilement ou subitement les systèmes naturels et humains. Il est possible de regrouper tous les impacts du changement climatique en trois éléments, qui réagiront et s'adapteront aux nouvelles situations (*voir* United States Global Change Research Program, 2000). Ces trois « éléments clés » sont la population (les êtres humains), l'environnement naturel et bâti (ce qui l'entoure) ainsi que les activités socio-économiques (la dynamique humaine), lesquelles peuvent subir des impacts directs lors de modifications dans les moyennes de températures, la variabilité et les extrêmes du climat, s'ils y sont exposés et sensibles. Par ailleurs, tout impact sur un élément peut se répercuter sur les deux autres éléments à cause d'impacts indirects, généralement plus difficiles à quantifier et responsables de la complexité des impacts intégrés des changements. Si l'on considère, par exemple, l'effet des précipitations extrêmes devenant plus fréquentes ou intenses : celles-ci agissent directement sur l'hydrosphère et la fréquence des débordements d'égouts et indirectement sur la fréquence des inondations des habitations ainsi que sur la santé des populations, les interruptions de services et l'état de l'économie, générant de nombreux autres impacts en cascade. Étant donné l'ampleur de la problématique, le chapitre du Québec se limite à présenter une synthèse des enjeux envisagés les plus importants, compte tenu de la documentation disponible.

Par ailleurs, la figure 1 soulève l'un des énormes défis d'une telle synthèse, soit celui de choisir une approche afin de catégoriser et de regrouper les nombreux enjeux, tout en abordant les enjeux croisés et cumulatifs.

Après l'introduction qui présente quelques généralités et concepts, la section 2 décrit brièvement les caractéristiques actuelles et l'évolution des trois « éléments clés » sous l'influence du changement climatique. La section 3 constitue le cœur de cette mise à jour, abordant l'état des connaissances en fonction des quatre sous-régions du Québec, puis des trois « éléments clés ». Enfin, la section 4 propose une synthèse afin d'orienter le développement d'une science du changement climatique complète, comprenant la recherche sur le climat, l'amélioration des connaissances sur les impacts appréhendés ainsi que l'évolution de tout ce qui a trait à l'adaptation, thème émergent des dernières années. Cette science du changement climatique deviendra de plus en plus nécessaire à la prise de décisions.

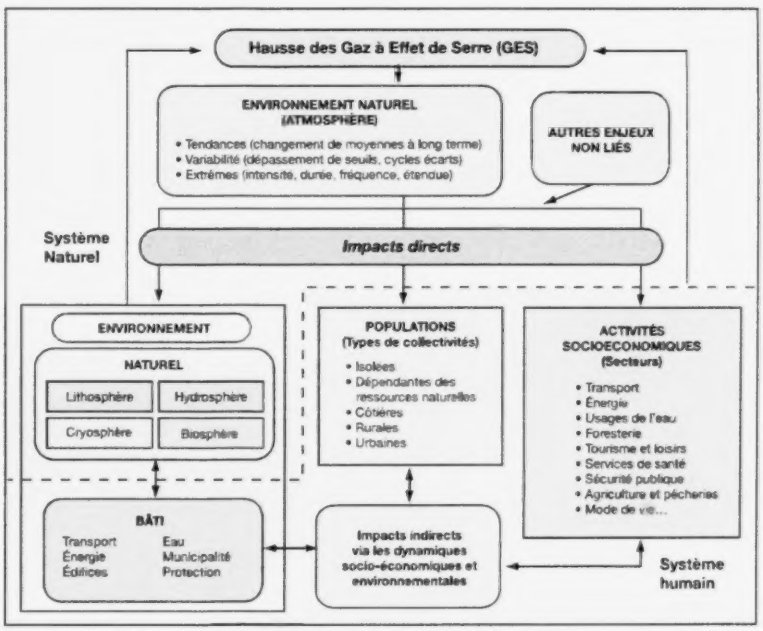


FIGURE 1 : Impacts directs et indirects du climat, de sa variabilité et ses extrêmes sur les trois éléments clés (l'environnement [naturel ou bâti], la population et les activités socio-économiques), illustrant l'importante sphère d'influence et la complexité des impacts climatiques. D'autres enjeux, tels que le développement technologique, les choix de société, le vieillissement des infrastructures, les changements démographiques, se produisent en parallèle et interagissent avec ces changements climatiques. Il est à noter que dans ce document, l'environnement naturel fait référence au regroupement des cinq sous-systèmes climatiques défini par Peixoto and Oort (1992) où l'atmosphère est l'initiateur du changement climatique qui induit ces impacts.

2 LE QUÉBEC EN ÉVOLUTION

Avec ou sans changement climatique, le Québec n'a jamais cessé d'évoluer dans le temps. Sa population, l'environnement naturel et bâti ainsi que les activités socio-économiques se sont transformés au cours des derniers siècles et, plus particulièrement, au cours des dernières décennies. Puisque la nature et l'ampleur des impacts du changement climatique dépendront autant des caractéristiques des trois éléments clés que du changement climatique proprement dit, il importe de faire une synthèse des caractéristiques de ces éléments et de celles du climat. Avant d'aborder les enjeux spécifiques et régionaux liés aux impacts du changement climatique, cette section présente les grandes caractéristiques et le portrait probable de l'évolution du Québec pour les décennies à venir.

2.1. POPULATION

Avec ses 7,5 millions de personnes (2005), le Québec est la deuxième province en importance au Canada. Une grande partie de sa population (82 p. 100) se concentre dans le sud du territoire et le long du Saint-Laurent, le reste étant réparti dans d'autres régions où l'économie est davantage axée sur l'exploitation des ressources naturelles. Le Québec est urbanisé : 75 p. 100 de sa population demeure dans 73 villes de plus de 10 000 habitants – dont 54 p. 100 dans les neuf villes de plus de 100 000 habitants, soit Montréal, Québec, Lévis, Gatineau, Sherbrooke, Laval, Longueuil, Saguenay et Trois-Rivières – et son économie est diversifiée. Le territoire rural (80 p. 100 du territoire habité) représente 1,6 million de personnes (22 p. 100 de la population) vivant dans près de 1 000 villages. Enfin, la population autochtone totale avoisine les 83 000 personnes, soit 73 000 amérindiens et 10 000 Inuits (Secrétariat aux affaires autochtones, 2006).

Au cours des prochaines décennies, la population du Québec sera marquée par une stabilisation du nombre d'habitants ainsi qu'une modification de la composition régionale et des groupes d'âge. Selon l'Institut de la statistique du Québec (ISQ), elle passerait à près de 8 millions en 2026 et à 7,8 millions en 2051 selon le scénario de référence (*voir* la figure 2; Institut de la statistique du Québec, 2003). L'incertitude autour de cette prévision repose principalement sur les hypothèses concernant l'évolution de l'immigration nette et de la fécondité, qu'encadrent les scénarios faible et fort de l'ISQ.

Par ailleurs, 12 des 17 régions administratives du Québec verraient leur population décroître d'ici 2026. À long terme, cette décroissance serait encore plus marquée, allant de -16 p. 100 à -32 p. 100. Parallèlement, la population de la région de Montréal augmenterait de près de 450 000 personnes (+13 p. 100), celles-ci s'installant principalement dans les couronnes nord et sud, poursuivant ainsi une tendance à l'étalement urbain (Statistique Canada, 2007a). L'Outaouais connaîtrait également une forte croissance, avec une augmentation de 13 p. 100 en 2041. Le Nunavik, en raison de ses particularités (*voir* la section 3.1), verrait sa population (10 000 personnes en 2001) augmenter de 28 p. 100 (13 000 personnes) à l'horizon 2021. Actuellement, cette population est jeune (en 2004, 56 p. 100 était âgé de moins de 25 ans) et est regroupée dans 14 villages établis le long des côtes de la baie d'Hudson, du détroit d'Hudson et de la baie d'Ungava (Institut de la statistique du Québec, 2004). Sa croissance se traduit déjà par une forte demande sur le plan de l'habitation (*voir* la section 3.1.).

Compte tenu de ces projections, les variations de la population par groupes d'âge seraient encore plus prononcées que celles prévues des populations totales des régions (*voir* la figure 3). En effet, en raison du rapport entre le nombre de personnes âgées de plus de 65 ans et celui des plus jeunes, le profil démographique du Québec serait complètement transformé. En 2051, le nombre de personnes âgées de 65 ans et plus dépasserait les 2 millions et, en 2026, leur poids démographique dépasserait les 20 p. 100 dans toutes les régions, sauf dans le nord du Québec. En 1996, la région la plus âgée, soit la Mauricie, comptait moins de 15 p. 100 de personnes âgées de 65 ans et plus. À l'horizon 2026, seule une zone en forme de croissant, centrée sur la région de Montréal (de l'Outaouais au centre du Québec), présenterait une certaine vigueur démographique. Ainsi, une proportion croissante de la population viendrait augmenter les tranches d'âge souvent associées à des groupes actuellement vulnérables au changement climatique. Ce changement aura des impacts sur la vulnérabilité de la société québécoise, particulièrement sur les moyens financiers disponibles pour le soutien des services de santé de plus en plus sollicités (Godbout *et al.*, 2007).

Par ailleurs, l'état de santé de la population québécoise évolue positivement et est bien documenté pour les différentes régions administratives du Québec (Institut national de la santé publique du Québec, 2006). Bien que la majorité des indicateurs socio-économiques et de santé révèlent une amélioration graduelle et constante de l'état de santé, un rapport précédent avait signalé

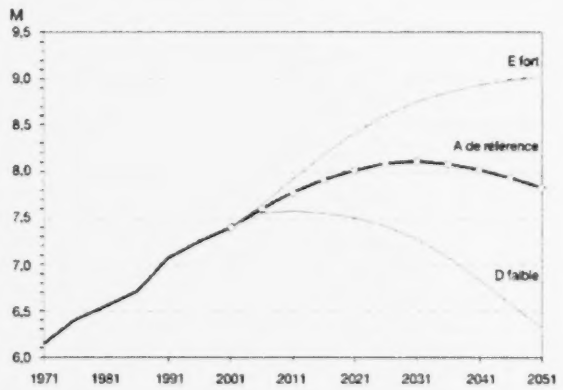


FIGURE 2 : Scénarios d'évolution de la population totale du Québec jusqu'en 2051 (Institut de la statistique du Québec, 2003).

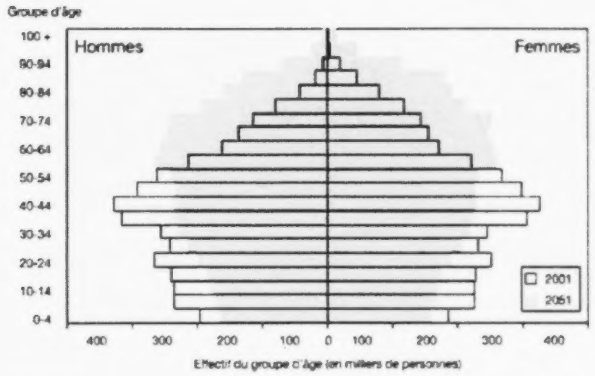


FIGURE 3 : Pyramide des âges de la population du Québec, de 2001 à 2051, scénario A de référence (Institut de la statistique du Québec, 2003).

certains comportements, perceptions et indicateurs favorables à un accroissement potentiel du nombre de personnes vulnérables (sédentarité, excès de poids, personnes âgées vivant seules; Institut national de la santé publique du Québec, 2006). Depuis, ces tendances ne se sont généralement pas confirmées sauf pour les populations demeurées vulnérables qui ont vu leur vulnérabilité s'accroître.

Puisque les tendances démographiques ne se modifient que graduellement, les projections semblent indiquer la poursuite du vieillissement démographique, de la croissance des populations urbaines et de la dépopulation des régions éloignées. En conséquence, l'évolution de la démographie et de l'état de santé pourront contribuer à accroître ou diminuer la vulnérabilité des populations au changement climatique.

2.2. ACTIVITÉ SOCIO-ÉCONOMIQUE

2.2.1. Économie

Première province du Canada sur le plan de la superficie, le Québec avait en 2005 un produit intérieur brut de près de 274 milliards de dollars (Statistique Canada, 2007b). Son économie diversifiée, largement tournée vers l'extérieur, assure à sa population un haut niveau de vie et lui donne d'importants moyens financiers pour faire face aux impacts potentiels du changement climatique (*voir* la section 2.3 au chapitre 2).

Longtemps reconnu pour ses ressources naturelles, le Québec a vu au cours des dernières décennies son économie se transformer en profondeur. Il compte maintenant sur un secteur des services (secteur tertiaire) où les activités commerciales et financières, les services de santé et d'éducation, les loisirs et l'administration publique occupent près de 70 p. 100 du PIB, contre 30 p. 100 pour celles des industries productrices de biens des secteurs primaire et secondaire (Statistique Canada, 2007b). Tout indique que cette tendance vers la tertiarisation se poursuivra, notamment avec la croissance des industries de l'information, des loisirs et du tourisme ainsi qu'avec la croissance des services de santé.

Prédominant au début du XX^{e} siècle, le secteur primaire, aux activités telles que l'agriculture, la foresterie ou encore la chasse et la pêche, ne représentait en 2005 que 2,3 p. 100 du PIB. Pour ce qui est du secteur secondaire manufacturier, plusieurs industries reposent sur la transformation des ressources, dont l'agroalimentaire et la transformation du bois. Cette dernière industrie représente près de 3 p. 100 du PIB de même qu'une proportion importante des exportations du Québec. Aussi, la production d'électricité au Québec, à 96 p. 100 d'origine hydraulique, représente 4 p. 100 du PIB et devrait s'accroître passablement au cours de la prochaine décennie. Il en va de même avec la filière éolienne, une industrie actuellement en plein essor grâce à la nouvelle politique énergétique du Québec et dont la puissance installée devrait passer de 100 à 4 000 MW d'ici à 2015 (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2006a).

L'économie québécoise est aussi caractérisée par de profondes différences entre ses régions. Si dans le sud du Québec, où l'économie est très diversifiée, les activités manufacturières et tertiaires occupent une place considérable dans la production du travail et dans l'emploi, dans certaines autres régions, l'agriculture, la forêt, la production hydroélectrique, les mines et les industries de transformation des ressources continuent de fournir une part importante des emplois directs (12 p. 100 à 20 p. 100). Au total, plusieurs centaines de collectivités dépendent directement d'une (ou des) ressource(s) naturelle(s) en place.

Ce portrait de l'économie québécoise devrait évoluer fortement au cours des prochaines décennies. Selon les tendances actuelles de la démographie et de la productivité du travail (+1,6 p. 100 selon Lafrance et Desjarlais, 2006), le Québec connaîtrait une croissance économique soutenue et doublerait sa production d'ici 50 ans (Ministère des Finances du Québec, 2005). Les ménages et les individus verraient ainsi leurs revenus augmenter substantiellement, disposant alors de moyens accrus pour satisfaire leurs besoins. L'augmentation de la scolarisation et de l'urbanisation sont également envisagées (Institut de la statistique du Québec, 2003). En région, l'évolution démographique créerait des différences importantes sur le plan de la croissance économique globale et par habitant, auxquelles viendraient s'ajouter les effets de la croissance différenciée des industries des ressources par rapport à ceux de la croissance des autres secteurs économiques.

Enfin, de nombreux changements commerciaux (nouveaux accords commerciaux, développement économique des pays émergents), technologiques (demande, méthodes ou procédés de production) ou encore reliés à la disponibilité et aux coûts des approvisionnements influeront sur les différentes activités de production de biens et services. Si l'évolution de certains secteurs est facile à prévoir pour les premières décennies, elle l'est moins pour les 50 ou les 100 prochaines années, notamment pour les industries comme celles des pâtes et papiers, de la transformation du bois et de l'agroalimentaire, sujettes à de rapides changements socio-économiques.

Les changements démographiques et socioculturels auront aussi des répercussions notables sur la demande de biens et services, comme une hausse des besoins en services de santé requis par une population vieillissante ou encore des besoins en loisirs des retraités, allant de pair avec des moyens technologiques mis au point pour les satisfaire. En somme, le contexte socio-économique sera, lui aussi, différent du contexte actuel et les liens accrus avec les marchés

internationaux viendront modifier (*voir* le chapitre 9) de façon complexe la sensibilité du système socio-économique aux répercussions ayant lieu au Québec et ailleurs.

2.2.2. Évolution sociale

L'évolution des systèmes humains est étroitement liée à de nombreux aspects sociaux, allant des perceptions individuelles aux politiques publiques et au capital social (Adger, 2003), en passant par le leadership (Bacal, 2006) et l'évolution des valeurs. Au-delà des impacts physiques et économiques plus aisément mesurables, l'importance accordée aux divers impacts du changement climatique sera influencée par l'évolution difficile à évaluer des perceptions et des valeurs de la société. Les acquis socio-économiques importants, le niveau croissant d'éducation, la sensibilité accrue à la protection de l'environnement, les communications et la complexité des enjeux influenceront particulièrement les prises de décisions permettant de composer avec les impacts du changement climatique (Bryant *et al.*, 2007). Ainsi, les inquiétudes de la société québécoise liées à la qualité de l'environnement ont incité, par exemple, les gouvernements à renforcer les balises encadrant la gestion des déjections animales (Institut national de recherche sur les eaux, 2004) et à abandonner d'autres projets majeurs comme la centrale thermique du Suroît, ou encore à légiférer afin de préserver les ressources en eau (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2002). Les événements climatiques extrêmes, les études scientifiques et leurs couvertures médiatiques ont probablement eu des conséquences sociales variées et importantes parfois difficiles à mesurer. Déjà, des réalités et perceptions similaires avaient fait en sorte que le Québec avait adhéré dès novembre 1992 aux principes et à l'objectif de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Depuis, le Québec a réalisé différentes actions, y compris la mise en œuvre de son Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2006a), ainsi que l'adoption d'une loi sur le développement durable (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2006b), prenant position en faveur d'un concept encore inconnu il y a à peine une vingtaine d'années.

Sur un autre plan, une proportion non négligeable de la population vit dans des conditions de précarité socio-économique reliées aux conditions d'emploi, à la démographie et à l'immigration, à la diminution du pouvoir d'achat et au défi d'acquérir un niveau d'éducation plus élevé (Institut national de santé publique du Québec, 2006). Cette population est concentrée dans les grandes villes en valeur absolue et pose des défis particuliers. Pour d'autres groupes, comme les Inuits du Nunavik et les Premières Nations d'autres régions, les réalités socio-économiques particulières augmenteraient ou diminueraient leur vulnérabilité quant à divers aspects du changement climatique.

Néanmoins, tout porte à croire que l'intérêt des populations pour les enjeux environnementaux, tels que le changement climatique, s'accroîtra malgré l'obligation de composer avec d'autres transformations nombreuses et rapides, comme la concurrence internationale accrue, la démographie, les avancées technologiques ainsi que les enjeux sociaux, d'éducation et de bien-être individuel et collectif.

2.3. ENVIRONNEMENT

2.3.1. Environnement bâti

L'environnement bâti a connu une progression fulgurante au Québec depuis le début du XX^{e} siècle, s'expliquant par l'urbanisation, l'enrichissement, les développements technologiques, la croissance et l'étalement de la population, ainsi que par l'interdépendance et la complexité croissante des activités socio-économiques. Généralement exposé au climat, l'environnement bâti devient vulnérable au moment d'événements climatiques dépassant un seuil coût/risque établi. Considérant le climat stationnaire, les concepteurs d'ouvrages intègrent les données climatiques des dernières décennies à leurs plans afin de concevoir des infrastructures et bâtiments répondant aux attentes. Naturellement, toute modification de cet état stationnaire du climat pourra avoir une incidence sur l'efficacité, la durée de vie et la sécurité des ouvrages à cause de l'occurrence d'impacts directs ou indirects susceptibles de provoquer la destruction, la défaillance, la perte d'efficacité ou la création d'une nuisance externe.

Le regroupement par type d'infrastructures et édifices qui composent l'environnement bâti (*voir* la figure 1) s'inspire de la Loi sur les ingénieurs du Québec (Ordre des ingénieurs du Québec, 2006). Les infrastructures de transport permettent la réalisation d'activités socio-économiques dans plusieurs régions (isolées, côtières, urbaines, rurales) au moyen de divers modes de transport (terrestre [routier ou ferroviaire], maritime, aérien). Les infrastructures reliées aux ressources hydriques, comme les barrages (5144 au Québec, incluant 333 grands barrages selon l'Institut national de recherche sur les eaux, 2004), les canaux et les ports, exploitent l'hydrosphère. Les infrastructures associées aux domaines de l'énergie et de la géologie ont rapport notamment à l'exploitation ou à l'intégrité des paysages. Les infrastructures municipales assurent, par exemple, la distribution de l'eau et son traitement, la gestion de l'eau de surface ou encore, l'élimination des déchets. Les édifices abritent souvent la population et représentent un grand nombre de bâtiments. Les ouvrages de protection, parfois qualifiés d'essentiels, servent à garantir la sécurité des populations, des activités socio-économiques et de l'environnement naturel et bâti; on compte au nombre des exemples biens connus, les digues bordant la ville de Winnipeg, celles de la Nouvelle-Orléans, ainsi que plusieurs enrochements côtiers ou brise-lames de l'est du Québec. Enfin, l'environnement naturel peut être aménagé ou modifié volontairement (ou involontairement) afin de maintenir ou de rehausser l'environnement bâti et naturel (talus au bas d'une route ou rive artificielle).

Globalement, l'environnement bâti, en particulier les infrastructures municipales, sont vieillissantes, plusieurs ayant déjà dépassé leur durée de vie utile (Infrastructure Canada, 2004; Villeneuve *et al.*, 1998). Les besoins en nouvelles infrastructures, mais surtout en réhabilitation d'infrastructures existantes, demeurent et demeureront importants, et les investissements massifs attendus et prévus au cours des prochaines décennies sont déjà amorcés (Statistique Canada, 2006). De par leur spécificité régionale, les villages nordiques du Nunavik reçoivent depuis une trentaine d'années d'importants investissements afin de se doter d'infrastructures municipales, scolaires et commerciales ainsi que

d'infrastructures de transport. N'étant pas reliés entre eux ni au sud du Québec par un réseau routier, ils sont desservis par bateau et par avion; ce dernier mode de transport dispose d'aéroports dont les pistes sont pour la plupart non asphaltées et construites sur le pergélisol.

Bien que l'environnement bâti poursuivra sa croissance, les tendances quant au vieillissement des infrastructures, aux investissements publics, à la démographie et à l'urbanisation, ainsi qu'à la densification du sud du Québec, portent à croire qu'une proportion grandissante de l'attention ira à la réhabilitation et au renouvellement des infrastructures en place afin de répondre aux besoins d'une population vieillissante aux activités et intérêts socio-économiques différents de ceux du XX^{e} siècle. Ces tendances font penser que l'intégration, lorsque pertinente, de nouvelles données climatiques ou nouvelles approches considérées lors de la conception et de la réhabilitation à venir sera déterminante quant à la vulnérabilité future de l'environnement bâti du Québec.

2.3.2. Environnement naturel

D'une superficie de 1 667 441 km^2, le Québec est constitué du Bouclier canadien (collines, vastes forêts et nombreux lacs), de la plaine argileuse des basses terres du Saint-Laurent et d'une partie des Appalaches aux sommets allongés. Notamment, en raison des reculs et des avancées glaciaires récurrents, le relief du territoire est peu accentué, dépassant rarement les 900 m d'altitude. La partie extrême nord présente une végétation de toundra, un sol reposant sur du pergélisol plus ou moins continu et un climat rigoureux aux vents forts sous lequel évoluent une faune et une flore adaptées. Plus au sud, le couvert forestier (757 900 km^2) est dominé par une forêt boréale (73,7 p. 100) dense, qui abrite une importante faune et une grande variété d'oiseaux. La forêt mixte, mélange de feuillus et de conifères, couvre les basses terres du Saint-Laurent et compte une grande diversité d'espèces végétales et animales. Par ailleurs, grâce à son important réseau hydrographique et ses milliers de lacs et de rivières recensés, le Québec détient, d'après les estimations, 3 p. 100 des eaux renouvelables de la planète. Enfin, 10 p. 100 de l'eau souterraine se trouve en région habitée, et un tiers du territoire fait partie du bassin versant du Saint-Laurent, fleuve qui dessert 80 p. 100 de la population (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2006b; Le Québec géographique, 2006). D'ailleurs, les ressources naturelles sont graduellement devenues de plus en plus exploité afin de générer une quantité croissante (en valeur absolue mais pas en pourcentage du PIB) de produits et services à la base de l'économie et de la société du Québec.

Quant à l'atmosphère, sous-système climatique initiateur des impacts du changement climatique, de nombreuses caractéristiques climatiques, notamment la température moyenne et les précipitations totales annuelles (*voir* la figure 4), ont contribué au fil des siècles à façonner la cryosphère, l'hydrosphère, la biosphère et même la lithosphère du Québec. De par son exposition continuelle aux conditions atmosphériques et considérant la nature essentiellement spontanée des processus d'adaptation, ceci laisse présager un plus fort potentiel d'impacts directs et indirects significatifs consécutif à toute transformation de l'atmosphère.

Cette situation est en contraste avec les populations et leurs activités socio-économiques; ces dernières sont généralement moins exposées et munies d'une variété de moyens pour anticiper le changement climatique et s'y adapter, offrant un potentiel d'impacts plus indirects et complexes.

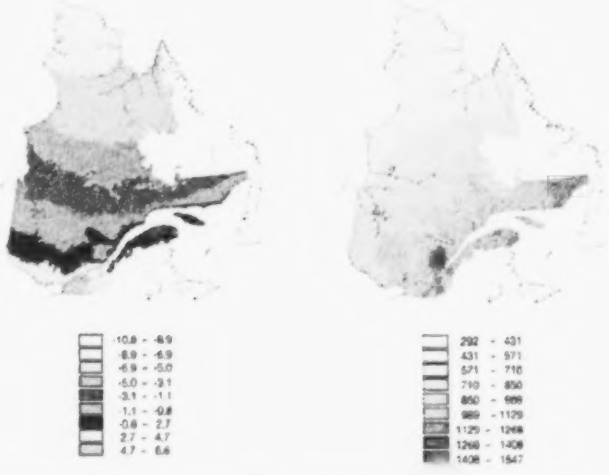


FIGURE 4 : Températures (en °C) et précipitations moyennes annuelles (en mm) au Québec, entre 1966 et 1996 (Ouranos, 2004).

L'activité humaine a contribué à une transformation des paysages, de la faune et de la flore, surtout en raison de la croissance démographique et de l'exploitation des ressources naturelles. Malgré une tertiarisation de l'économie et une importance accrue accordée à l'environnement naturel, elle occasionnera de nouveaux changements, mais les conditions climatiques anticipées pourront en induire encore davantage, étant donné la sensibilité des écosystèmes au climat. Quelques conclusions sur les tendances et les projections climatiques concernant le Québec sont abordées à partir de la section suivante, mais des discussions détaillées sur ces points sont également disponibles dans d'autres documents (Ouranos, 2007).

2.3.3. Climat

Outre les conditions initiales et les tendances des trois éléments clés (population, environnement naturel et bâti, activités socio-économiques), l'évolution régionale, voire locale, du climat sera naturellement aussi déterminante quant à la nature et l'ampleur des impacts et des mesures d'adaptation spontanées ou planifiées qui en résulteront.

Tendances climatiques historiques

Barrow *et al.* (2004) et Gachon *et al.* (2005) ont fait état des changements statistiquement significatifs à la hausse sur plusieurs

décennies pour des indicateurs tels que la température annuelle, les précipitations totales annuelles et le nombre de jours de pluie, tandis qu'ils constataient une diminution du couvert de glace.

Dans des études récentes, Yagouti *et al.* (2006, sous presse) ont constaté un réchauffement notable du climat dans plusieurs régions du Québec méridional entre 1960 et 2003. Un réchauffement marqué des températures annuelles moyennes, entre 0,5 °C et 1,2 °C, a été constaté dans l'ouest et le centre du Québec méridional. Le réchauffement suit un gradient décroissant orienté d'ouest en est. Ainsi, dans l'est du Québec méridional, un réchauffement peu important et inférieur à 0,5 °C s'est produit au cours de la même période. À la majorité des stations, on a constaté que le réchauffement a été plus rapide à partir de la deuxième moitié des années 1990 et a été plus prononcé la nuit que le jour, principalement en été. L'hiver et l'été constituent les saisons où le réchauffement le plus marqué a été constaté. Ainsi, par exemple, le centre et l'ouest du Québec méridional ont connu en été des augmentations des températures minimales variant entre 0,4 et 2,2 °C alors que, dans l'est, la majorité des stations n'a enregistré aucune tendance significative (*voir* la figure 5). Enfin, le réchauffement des températures hivernales et estivales s'est traduit par une évolution notable de plusieurs indicateurs climatiques, notamment les degrés-jours de croissance, les degrés-jours de chauffage, ou encore la durée de la saison sans gel. Le lecteur intéressé par une analyse détaillée de l'évolution des températures et des indicateurs climatiques dérivés pourra consulter l'ouvrage de Yagouti *et al.* (2006).

Quant au climat du nord du Québec, l'analyse des données homogénéisées des quelques stations semble indiquer un réchauffement plus important que dans toute autre région du Québec au cours du XX^{e} siècle. À Inukjuak, par exemple, où l'on dispose de la plus longue série de données climatiques, la tendance de la température moyenne annuelle est de +2,9 °C de 1922 à 2004. Toutefois, il faut noter que l'ensemble des stations nordiques (*voir* la figure 6), incluant Inukjuak, ont vécu une tendance nulle, voire légèrement négative entre 1950 et le début des années 1990, suivi

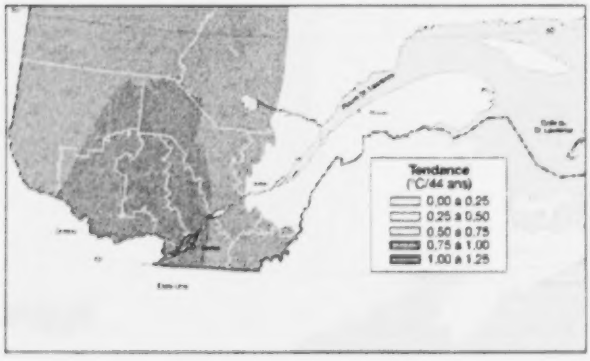


FIGURE 5 : Interpolation de la tendance des températures annuelles moyennes entre 1960 et 2003. Les tendances présentées ici sont cohérentes avec les analyses faites à l'échelle du continent. Les masses d'eau imposantes à l'est du Québec expliqueraient la différence est-ouest (Yagouti *et al.*, 2006).

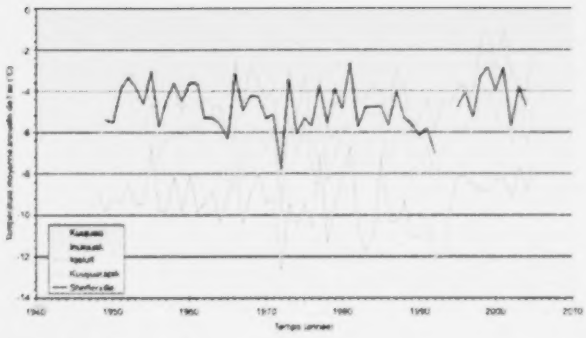


FIGURE 6 : Tendance des températures moyennes annuelles pour cinq stations nordiques non homogénéisées (M. Allard, communication personnelle, 2006).

par une période plus chaude d'au moins 1°C que les normales de 1961 à 1990. À titre d'exemple d'impact de cet épisode chaud, la température du pergélisol en surface a augmenté de près de 1°C en dix ans à plusieurs sites couvrant l'ensemble du nord du Québec (Allard *et al.*, 2004).

D'autres études climatiques non spécifiques au Québec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007) font état de potentielles tendances climatiques se manifestant sur son territoire, à savoir :

- une augmentation du couvert nuageux (Milewska, 2004);
- une diminution du gradient de pression entre le nord et le sud-est du Canada (Gillett *et al.*, 2003 : Wijngaard *et al.*, 2003);
- une augmentation récente de l'activité cyclonique intense (McCabe *et al.*, 2001; Lambert, 2004);
- un déplacement de 181 km vers le nord de la trajectoire moyenne des dépressions hivernales dans l'Atlantique nord (Wang *et al.*, 2006);
- une augmentation de la précipitation automnale (Stone *et al.*, 2000) bien que, globalement, la variabilité inter-décennale semble dominer (Zhang *et al.*, 2001);
- une disponibilité en eau moindre entre 1950 et 2002 principalement sur le centre du Québec (Dai *et al.*, 2004; Ouranos, 2004; Déry et Wood, 2005);
- quelques modifications de la cryosphère, notamment une disparition printanière devancée entre 1966 et 1995 (Groisman *et al.*, 2003; Duguay *et al.*, 2006).

Plusieurs chercheurs relient ces observations à des indices tels l'oscillation nord-atlantique (North Atlantic Oscillation ou NAO), particulièrement pour la saison froide (Voituriez, 2003), et ce, même pour les températures (Wettstein et Mearns, 2002). Higuchi *et al.* (2000) ont même avancé que la persistance d'un NAO positif et des conditions de type El Niño dans l'océan Pacifique favorisent les tempêtes de pluie verglaçante sur le sud-est du Canada. Une description exhaustive de ces études sort cependant du cadre de ce chapitre.

Scénarios climatiques projetés

À l'instar du chapitre deux, les changements saisonniers des températures et des précipitations projetés par six modèles de circulation générale (MCG) utilisant différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre sont présentés pour quatre sous-régions (*voir* la figure 7). Les changements moyens projetés pour trois décennies centrées sur les décennies 2020, 2050 et 2080 sont présentés et interprétés par rapport aux normales climatiques de 1961 à 1990 (Environnement Canada, 1993). Les quatre diagrammes de dispersion (*voir* les figures 8 à 11) et les tableaux synthèses associés (*voir* les tableaux 1 à 4) résument les plus récentes projections saisonnières (*voir* pour les interprétations : Barrow *et al.*, 2004; Ouranos, 2004; Chaumont, 2005; Chaumont et Chartier, 2005). Les modèles régionaux du climat (MRC), au traitement plus fin des composantes de la dynamique et de la physique, produisent des résultats aux échelles spatiales et temporelles d'intérêt pour l'évaluation des impacts régionaux (Ouranos, 2004). De plus en plus, les résultats de MRC, dont le modèle canadien (MRCC), permettront d'élaborer des projections de changement climatique plus raffinées (Plummer *et al.*, 2006), d'où l'inclusion de résultats du MRCC dans les diagrammes de dispersion (*voir* les figures 8 à 11).

Dans l'ensemble, les températures moyennes augmenteraient pour les trois horizons climatiques, particulièrement pour la saison froide. Les précipitations saisonnières totales augmenteraient aussi, surtout en hiver et au printemps. Dans les sous-régions sud et maritime, les changements dans les précipitations totales de l'été et de l'automne sont incertains car autant de scénarios indiquent des diminutions que des augmentations; certaines de ces diminutions peuvent même atteindre 25 p. 100. Les changements projetés se démarquent généralement de la variabilité naturelle du climat simulée par le modèle couplé canadien de circulation générale (MCCG3) dès l'horizon 2020 dans le cas de la température et beaucoup plus tard, soit parfois sur l'horizon 2050, voire même après l'horizon 2080, dans le cas de la précipitation.

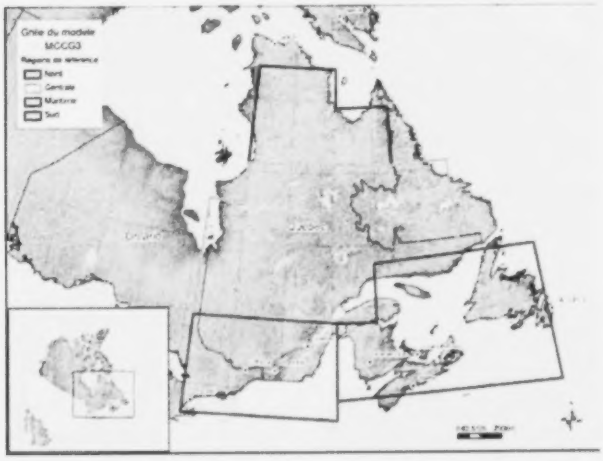


FIGURE 7 : Les quatre sous-régions choisies afin d'établir des scénarios équiprobables exprimés sous forme de diagrammes de dispersion des températures et des précipitations. La grille du modèle couplé canadien de circulation générale (MCCG3) est ajoutée afin d'illustrer la résolution spatiale typique des modèles de circulation générale (MCG).

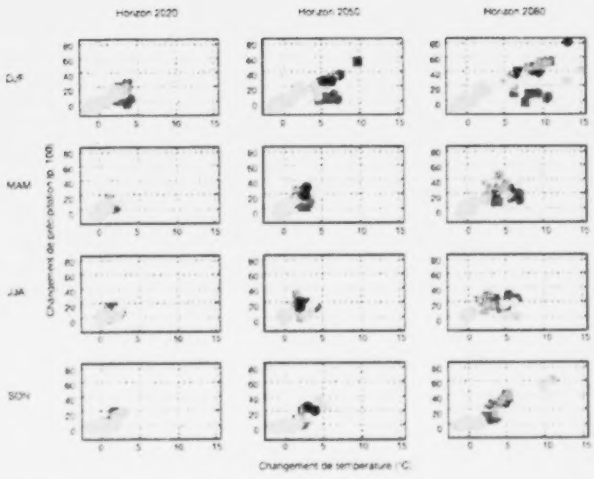


FIGURE 8 : Diagramme de dispersion des changements de températures et de précipitations pour la sous-région nord par saison et par période climatique future, par rapport aux normales de 1961 à 1990. Les valeurs proviennent de plusieurs MCG (couleurs) pour divers scénarios d'émissions de GES (formes). Les losanges gris indiquent la variabilité naturelle du climat sur 1000 ans de la simulation contrôle du MCCG3. Chaque losange représente une moyenne de 30 ans. Les changements simulés par le MRCC 4.1.1 portent uniquement sur l'horizon 2050. La légende se trouve à la figure 11.

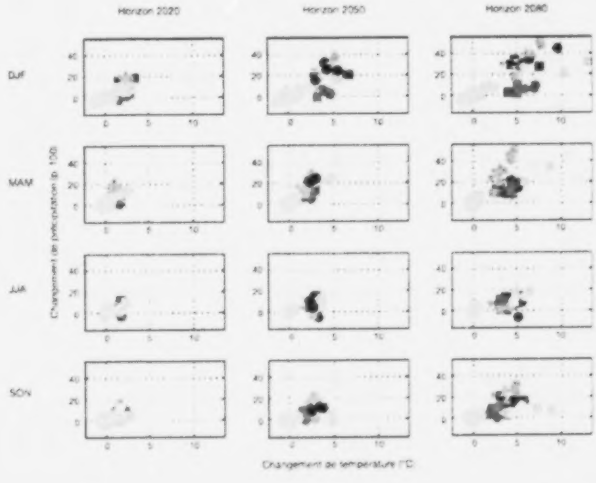


FIGURE 9 : Diagramme de dispersion des changements de températures et de précipitations pour la sous-région centrale par saison et par période climatique future, par rapport aux normales de 1961 à 1990. Les valeurs proviennent de plusieurs MCG (couleurs) pour divers scénarios d'émissions de GES (formes). Les losanges gris indiquent la variabilité naturelle du climat sur 1000 ans de la simulation contrôle du MCCG3. Chaque losange représente une moyenne de 30 ans. Les changements simulés par le MRCC 4.1.1 portent uniquement sur l'horizon 2050. La légende se trouve à la figure 11.

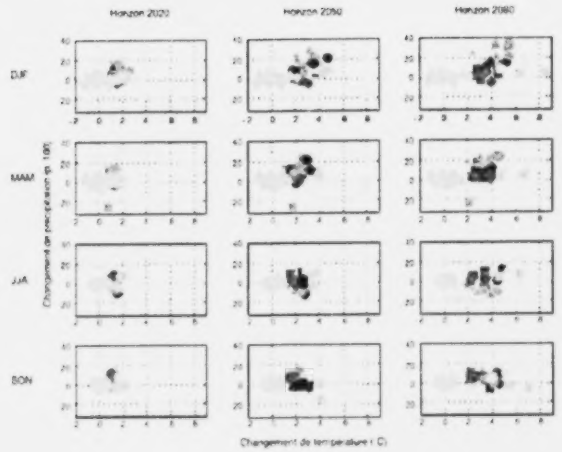


FIGURE 10 : Diagramme de dispersion des changements de températures et de précipitations pour la sous-région maritime par saison et par période climatique future, par rapport aux normales de 1961 à 1990. Les valeurs proviennent de plusieurs MCG (couleurs) pour divers scénarios d'émissions de GES (formes). Les losanges gris indiquent la variabilité naturelle du climat sur 1000 ans de la simulation contrôle du MCCG3. Chaque losange représente une moyenne de 30 ans. Les changements simulés par le MRCC 4.1.1 portent uniquement sur l'horizon 2050. La légende se trouve à la figure 11.

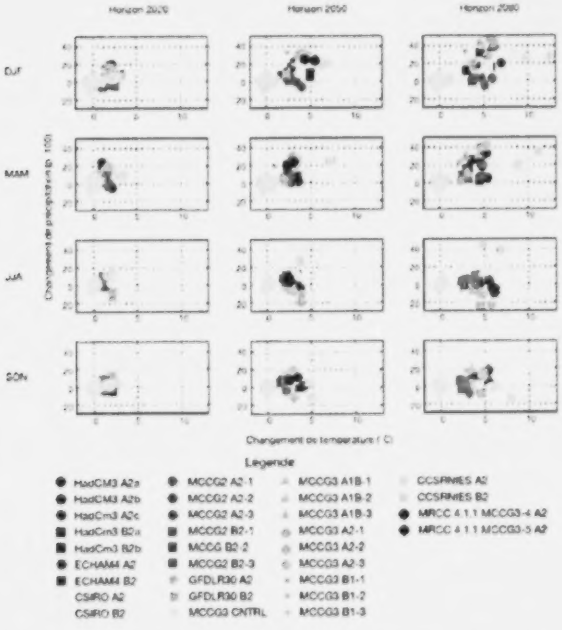


FIGURE 11 : Diagramme de dispersion des changements de températures et de précipitations pour la sous-région sud par saison et par période climatique future, par rapport aux normales de 1961 à 1990. Les valeurs proviennent de plusieurs MCG (couleurs) pour divers scénarios d'émissions de GES (formes). Les losanges gris indiquent la variabilité naturelle du climat sur 1000 ans de la simulation contrôle du MCCG3. Chaque losange représente une moyenne de 30 ans. Les changements simulés par le MRCC 4.1.1 portent uniquement sur l'horizon 2050.

TABLEAU 1 : Normales climatiques et synthèse du diagramme de dispersion pour la sous-région nord.

Saison		Climat des 1950	Changement d'ici 2020	Changement d'ici 2050	Changement d'ici 2080
Hiver	Température	-21 à 25°C	+2,5 à +3,5°C	+4 à +7°C	+6 à +12,5°C
	Précipitations	60 à 180 mm	+1 à +18 p. 100	+2 à +32 p. 100	+5 à +53 p. 100
Printemps	Température	-7 à -17°C	+0,5 à +2°C	+1,5 à +3,5°C	+2,5 à +7°C
	Précipitations	75 à 125 mm	+1 à +12 p. 100	+4 à +26 p. 100	+8 à +35 p. 100
Été	Température	6 à 10°C	+1 à +2,5°C	+1,5 à +4°C	+2 à +6°C
	Précipitations	150 à 230 mm	+1 à +12 p. 100	+3 à +19 p. 100	+5 à +28 p. 100
Automne	Température	1 à 4°C	+1,5 à +2,5°C	+2 à +3,5°C	+2,5 à +6°C
	Précipitations	150 à 240 mm	+2 à +16 p. 100	+5 à +24 p. 100	+9 à +42 p. 100

TABLEAU 2 : Normales climatiques et synthèse du diagramme de dispersion pour la sous-région centrale.

Saison		Climat des 1950	Changement d'ici 2020	Changement d'ici 2050	Changement d'ici 2080
Hiver	Température	-11 à -21°C	+1,5 à +3°C	+3 à +5,5°C	+4,5 à +9,5°C
	Précipitations	130 à 325 mm	+1 à +18 p. 100	+4 à +32 p. 100	+6 à +47 p. 100
Printemps	Température	3 à -7°C	+0,5 à +2°C	+1,5 à +4,5°C	+2,5 à +8,5°C
	Précipitations	125 à 300 mm	+1 à +19 p. 100	+6 à +25 p. 100	+8 à +45 p. 100
Été	Température	10 à 17°C	+1 à +2°C	+2 à +3,5°C	+2,5 à +5,5°C
	Précipitations	230 à 310 mm	0 à +8 p. 100	-2 à +13 p. 100	0 à +13 p. 100
Automne	Température	-1 à 6°C	+1 à +2°C	+1,5 à +4°C	+2,5 à +5,5°C
	Précipitations	215 à 300 mm	0 à +13 p. 100	0 à +20 p. 100	+2 à +26 p. 100

TABLEAU 3 : Normales climatiques et synthèse du diagramme de dispersion pour la sous-région maritime.

Saison		Climat des 1950	Changement d'ici 2020	Changement d'ici 2050	Changement d'ici 2080
Hiver	Température	-10 à -13°C	+1 à +2°C	+2 à +4°C	+3 à +6°C
	Précipitations	295 à 400 mm	-2 à +12 p. 100	-1 à +21 p. 100	+1 à +32 p. 100
Printemps	Température	-1 à -3°C	+1 à +2°C	+1,5 à +3,5°C	+2,5 à +5°C
	Précipitations	250 à 325 mm	-3 à +13 p. 100	-2 à +16 p. 100	+1 à +23 p. 100
Été	Température	13 à 17°C	+1 à +1,5°C	+1,5 à +3°C	+2,5 à +5°C
	Précipitations	250 à 350 mm	-6 à +7 p. 100	-10 à +9 p. 100	-11 à +9 p. 100
Automne	Température	3 à 6°C	+1 à +1,5°C	+1,5 à +3°C	+2 à +5°C
	Précipitations	275 à 350 mm	+2 à +11 p. 100	-3 à +11 p. 100	-3 à +11 p. 100

TABLEAU 4 : Normales climatiques et synthèse du diagramme de dispersion pour la sous-région sud.

Saison		Climat des 1960	Changement d'ici 2020	Changement d'ici 2050	Changement d'ici 2080
Hiver	Température	-7,5 à -11°C	+1 à +2,5°C	+2 à +5°C	+3,5 à +8°C
	Précipitations	270 à 330 mm	-5 à +19 p. 100	0 à +32 p. 100	+1 à +43 p. 100
Printemps	Température	3,5 à 6°C	+1 à +3°C	+2 à +5°C	+2,5 à +8°C
	Précipitations	240 à 280 mm	-1 à +19 p. 100	+2 à +25 p. 100	+4 à +39 p. 100
Été	Température	18 à 20°C	+1 à +2°C	+2,5 à +4°C	+2,5 à +6°C
	Précipitations	280 à 350 mm	-5 à +10 p. 100	-7 à +13 p. 100	-11 à +15 p. 100
Automne	Température	6,5 à 9°C	+1 à +2,5°C	+2 à +4°C	+2,5 à +5,5°C
	Précipitations	270 à 330 mm	-1 à +10 p. 100	-8 à +16 p. 100	-7 à +18 p. 100

3 SENSIBILITÉS, IMPACTS ET ADAPTATION

Afin de bien saisir la description offerte dans la présente section des sensibilités, vulnérabilités, opportunités, impacts appréhendés, adaptations spontanées et planifiées, ainsi que de la capacité d'adaptation que l'on retrouve sur le territoire du Québec, il est nécessaire de bien comprendre les concepts expliqués au chapitre 2.

L'approche retenue est régionale (sous-régions nord, centrale, maritime et sud) mais également sectorielle et transversale (*voir* la section 3.5), afin d'intégrer à cette section des enjeux non abordés dans les sections traitant des sous-régions. À l'exemple de l'approche adoptée par Ouranos (2004), les limites de ces quatre sous-régions ne doivent pas être perçues comme des limites administratives, mais plutôt comme des zones de transition graduelle entre régions qui regroupent des caractéristiques similaires.

La figure 12, à consulter tout au long de la section, offre un aperçu des enjeux sur un territoire que l'on peut résumer comme suit :

- **la sous-région nord** (*voir* la section 3.1) est caractérisée par la présence de collectivités isolées aux importantes transformations socio-économiques et démographiques;
- **la sous-région centrale** (*voir* la section 3.2), par de vastes étendues de ressources naturelles importantes pour l'économie locale et celle du Québec;
- **la sous-région maritime** (*voir* la section 3.3) par un développement calqué sur les zones côtières;
- **la sous-région sud** (*voir* la section 3.4), par une urbanisation soutenue regroupant la majorité de la population, des activités économiques et de l'environnement bâti et provoquant de fortes pressions sur l'environnement.

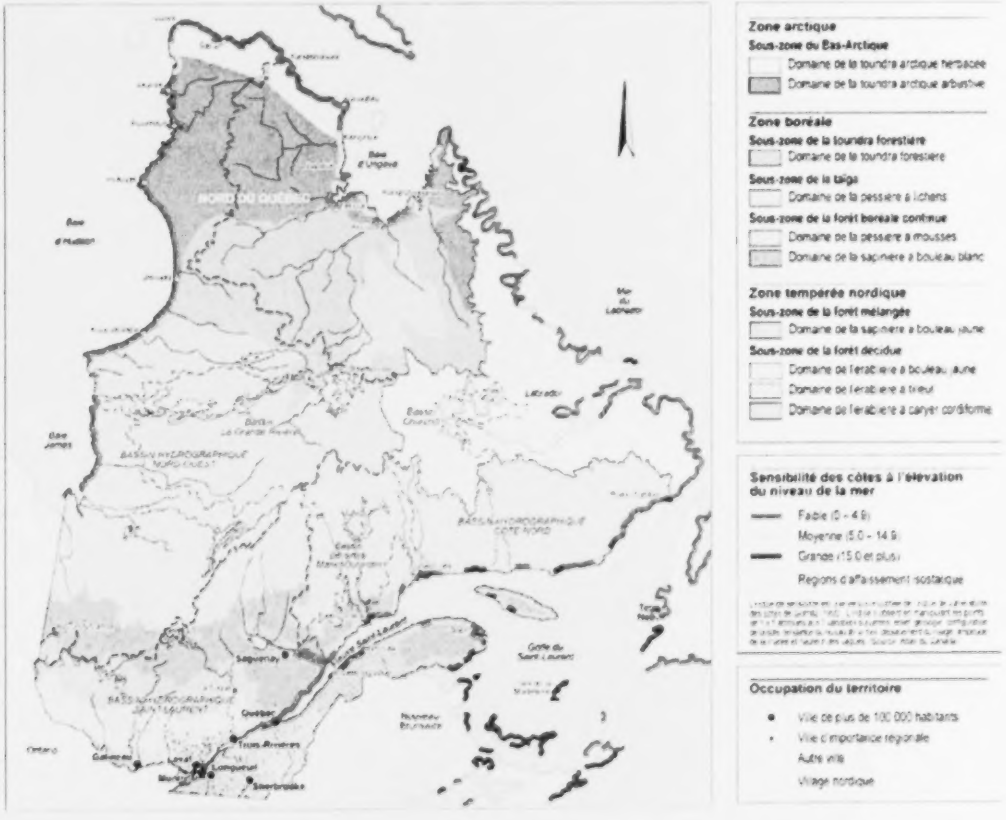


FIGURE 12 : Présentation des quatre sous-régions du Québec et d'une variété de caractéristiques d'intérêt quant à la sensibilité au changement climatique.

3.1. SOUS-RÉGION NORD

Le Nunavik se distingue des autres régions du Québec par sa faune et sa flore peu abondantes ainsi que par une saison froide allongée et un paysage dominé par la neige et la glace. Sa population, majoritairement inuite, a un mode de vie étroitement lié à son environnement. Elle est regroupée dans 14 villages (*voir* la figure 12), où sont concentrées les infrastructures. Les villages nordiques font face à d'importants changements depuis les trois dernières générations et connaissent aujourd'hui une expansion démographique rapide, ainsi qu'une transformation des activités socio-économiques autrefois basées essentiellement sur des modes de vie traditionnels. Malgré ces profonds changements, certaines activités (approvisionnement alimentaire, vente de fourrure sur les marchés internationaux) représentent encore une partie importante de l'économie locale. La figure 8 et le tableau 1 révèlent que le Nunavik subira, en même temps que de nombreux autres changements de diverse nature, le plus important changement climatique du Québec en valeur absolue, en particulier à cause de l'effet de rétroaction climatique de la neige et de la glace et de la présence de la baie d'Hudson à l'ouest. Les résultats et les conclusions d'initiatives, comme celles de l'Arctic Climate Impact Assessment (ACIA, 2004), d'ArcticNet (2006), du Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation, 2006) ou des projets d'Ouranos, s'appliquent à cette sous-région au nord du 55e parallèle connue sous le nom d' « Arctique québécois ».

Modifications à l'environnement naturel

De pair avec l'évolution récente du climat, la température du pergélisol s'est élevée en moyenne de 1 à 1,5 °C entre 1990 et 2002, et ce jusqu'à 20 m de profondeur en certains endroits étudiés, tandis qu'un approfondissement notable de la couche active (la partie superficielle du terrain qui dégèle en été) était constaté (Allard *et al.*, 2002a). Les Inuits rapportent d'importantes transformations environnementales et même les chasseurs expérimentés disent avoir du mal à anticiper les conditions météorologiques, ou même l'état de la neige ou de la mer lors de leurs déplacements en motoneige ou en canot (Tremblay *et al.*, 2006). Le savoir traditionnel inuit semble moins fiable, et de nombreux accidents impliquant parfois des personnes expérimentées sont rapportés (Nickels *et al.*, 2005).

Le transfert de chaleur dans le sol, consécutif au réchauffement climatique, provoquera inévitablement une fonte partielle ou totale du pergélisol selon l'ampleur réelle du réchauffement au cours du XXIe siècle (Lawrence et Slater, 2005). En conséquence, les écosystèmes seront fortement perturbés, en raison notamment de la dégradation du pergélisol, qui entraîne déjà des affaissements de terrain ainsi que la création et l'expansion de petits lacs (appelés lacs de thermokarst; Seguin et Allard, 1984). Les réseaux de drainage des sols sensibles sont susceptibles d'être modifiés par l'assèchement et l'extension des tourbières et des terres humides (selon les conditions locales de topographie et de texture du sol) ainsi que par le ravinement et l'érosion en rigoles (Payette *et al.*, 2004). Favorisée par les saisons estivales plus clémentes et une protection hivernale du couvert de neige accru dans la toundra, l'expansion des populations arbustives transformerait les écosystèmes de façon importante, augmentant leur productivité primaire, phénomène qui devrait se répercuter sur le règne animal. L'aire de répartition des espèces animales est appelée à progresser vers le nord au rythme de ces changements. L'incidence sur le comportement de populations migratrices, y compris, entre autres, les troupeaux de caribous, l'omble arctique, les oies et canards, les phoques et les baleines, reste à déterminer. En ce qui a trait aux écosystèmes, lesquels s'adaptent de façon spontanée, le sujet est traité à l'échelle provinciale à la section 3.5.

Dans la mesure où le régime des précipitations, de l'évapotranspiration et de l'écoulement souterrain est touché, le régime hydrologique des rivières évoluera et les températures de l'eau se réchaufferont. Des apports sédimentaires pourraient résulter de la détérioration du pergélisol, bien que leur ampleur reste à évaluer. Tous ces changements auront un impact non négligeable sur la faune aquatique régionale.

Environnement bâti sensible

Face à la dégradation du pergélisol, le niveau de risque varie d'une communauté à l'autre, selon la géomorphologie (massifs de roche, sols granulaires ou sols argileux comportant de la glace, facteur d'instabilité au dégel). De la limite des arbres jusqu'au rivage du détroit d'Hudson, le gradient climatique est tel que le pergélisol discontinu, dont les températures se situent près du point de congélation, devient beaucoup plus froid. En conséquence, un réchauffement régional à peu près uniforme agira d'abord sur les marges sud du pergélisol, puis progressivement sur les territoires plus nordiques. Jusqu'à présent, la planification urbaine a tenu compte, autant que possible, de la nature du terrain dans chaque communauté. De plus, la plupart des bâtiments institutionnels, comme les écoles et les hôpitaux, et la plupart des maisons sont construits sur des pieux ou des chevalets, ce qui favorise la circulation de l'air et maintient le sol à des températures approchant celles de l'air (Fortier et Allard, 2003a, b).

Cependant, les bâtiments et les infrastructures importantes (aéroports, routes) sont partiellement ou totalement construits sur des terrains sensibles. Dans les zones où le sol est constitué de dépôts meubles contenant de la glace, la fonte du pergélisol cause des tassements et des déformations de sol susceptibles d'endommager les infrastructures. C'est le cas des infrastructures aéroportuaires de treize des quatorze villages, qui sont sous la responsabilité du ministère des Transports du Québec (MTQ), dont la sécurité et l'intégrité sont devenues préoccupantes (Grondin et Guimond, 2005). En effet, la fonte du pergélisol a déjà provoqué des tassements et des fissures, et est à l'origine de signes de détérioration que l'on remarque, autant sur plusieurs pistes d'atterrissage que sur les routes qui relient les aéroports aux villages (Beaulac et Doré, 2005). Les mesures d'entretien courantes ont jusqu'à maintenant suffi à assurer la sécurité; toutefois, la fréquence et les coûts accrus des réparations, le constat des dommages et la hausse des activités d'entretien ont amené le MTQ et Ouranos à élaborer un programme de recherche en vue de caractériser le pergélisol en-dessous et en bordure des infrastructures (profil thermique, tassements, conditions climatiques), d'évaluer le comportement de ces infrastructures depuis leur construction et de prédire leur évolution et, enfin, d'élaborer des mesures d'adaptation (Beaulac et Doré, 2005; Ministère des Transports du Québec, 2006a).

Transport local et accès aux ressources

Au Nunavik, les chasseurs et les cueilleurs se servent principalement de l'embarcation en été et de la motoneige en hiver pour se déplacer. Les types de routes utilisés (voies navigables et chemins de glace) sont importants pour s'approvisionner (chasse, pêche, cueillette de petits fruits et d'œufs), pour déplacer les biens et les personnes entre les collectivités et pour accéder aux sites d'activités traditionnelles, telles que la trappe, la cueillette ou les activités familiales et sociales. Les déplacements et l'accès aux ressources sont cruciaux, d'une part, pour s'alimenter et, d'autre part, pour conserver une cohésion sociale indispensable au maintien d'une culture déjà fragilisée par d'autres stress.(Lafortune *et al.*, 2005). Dès lors, les nouvelles incidences climatiques (prévisions météorologiques difficiles, gel tardif et dégel précoce de la glace) rendent les déplacements plus risqués, ce qui touche aussi bien les aspects socio-économiques et culturels que la transmission des connaissances traditionnelles, tout en se répercutant sur l'identité individuelle et collective de cette société en mutation (Tremblay *et al.*, 2006).

Activités économiques en croissance

De nouvelles ressources sont de plus en plus exploitées dans le Nunavik. L'industrie minière se développe rapidement à mesure que le territoire devient plus accessible et à la faveur des marchés internationaux des métaux. Le changement climatique offre de nouvelles occasions de développement comme, par exemple, le fait que les voies navigables restent ouvertes pour de plus longues périodes permet de réduire les coûts de transport des minerais (Beaulieu et Allard, 2003). Par contre, ces nouveaux accès ajouteront une pression additionnelle sur les espèces qui dépendent du couvert de glace, voire sur les populations qui dépendent de ces espèces pour leur subsistance. De plus, le changement climatique rend incertain le gel des parcs de résidus miniers toxiques, tout autant pendant qu'après l'exploitation, lorsque les gisements seront épuisés. Cette incertitude a pour effet d'engendrer, pour les futures exploitations, des prévisions de coûts plus élevés que prévu pendant et après l'exploitation, afin de prévenir toute contamination du milieu naturel par suintement et écoulement de produits toxiques.

Si l'exploitation des rivières de la baie d'Ungava à des fins de production d'électricité devenait acceptable sur les plans commercial et social, l'exploitant aurait à gérer des incertitudes quant au régime hydrologique à cause d'un climat différent, mais vraisemblablement plus avantageux en raison de l'augmentation anticipée des précipitations. De plus, le potentiel éolien élevé de la région (Environnement Canada, 2007a) favoriserait le développement de la filière éolienne en complément à la production électrique des centrales diesels dans quelques collectivités, assurant du même coup la diversification de l'approvisionnement et une réduction de la dépendance aux combustibles fossiles coûteux, lesquels doivent être transportés par bateau. Même en ne contribuant que pour une faible part à réduire les émissions de GES, la production éolienne représenterait un argument politique de poids, car les Inuits participeraient de toute façon à la réduction des émissions de GES en réduisant de beaucoup leur recours aux combustibles fossiles.

Stratégies d'adaptation

Les nouvelles connaissances sur le pergélisol qui se trouve sous les infrastructures, ainsi que l'application de solutions et de pratiques en matière de génie civil, aideront à gérer les impacts du changement climatique sur les aéroports, les routes et les bâtiments (Allard *et al.*, 2002b). Quant à la consolidation et au maintien de l'intégrité des infrastructures bâties sur le pergélisol, diverses solutions sont à l'essai ou ont déjà démontré leur efficacité. Ainsi, la pénétration de chaleur dans les remblais peut être contrée par la convection d'air et l'installation de l'utilisation de techniques d'isolation et de surfaces réfléchissantes; ou encore, la chaleur peut être extraite des remblais au moyen de drains. La mise en place de géotextiles ou encore la consolidation et le rehaussement des infrastructures à risque peuvent également aider à diminuer les vulnérabilités (Beaulac et Doré, 2005).

Par ailleurs, la cartographie à grande échelle des conditions du pergélisol dans chaque village est un outil d'amélioration de la planification urbaine visant l'adaptation au changement climatique à long terme. Quoi qu'il en soit, les normes de construction et les prises de décisions devront désormais tenir compte du changement climatique (Allard *et al.*, 2004) afin d'empêcher l'augmentation des vulnérabilités.

L'accessibilité au territoire pour les activités traditionnelles fait l'objet d'une attention particulière de la part des autorités locales, telles que l'Administration régionale Kativik, sur le plan de la sécurité le long des voies terrestres (chemins de glace) ou sur les voies navigables (Bégin, 2006). En collaboration avec les collectivités locales, une étude est en cours pour déterminer les moyens de mieux anticiper et de mieux s'adapter aux nouvelles conditions de glace et de neige en hiver, en s'appuyant sur le réseau de stations météorologiques du nord (Lafortune *et al.*, 2005). Le faible nombre de stations météorologiques et la mauvaise qualité des séries chronologiques de données rendent actuellement difficile la validation des modèles utilisés, mais cette difficulté est en voie de disparaître avec l'installation de nouvelles stations climatiques par Environnement Canada.

Lors d'un atelier portant sur les états de la situation des projets régionaux qui s'est déroulé à Montréal le 6 octobre 2005, l'éducation et le développement d'outils de sensibilisation et d'information ont été identifiés comme des moyens importants de réduire la vulnérabilité des infrastructures au changement climatique. Aussi, les responsables de l'Administration régionale Kativik ont souligné la nécessité d'améliorer les données météorologiques et la capacité de prédire les événements extrêmes, notamment les risques de blizzards, les tempêtes, les coups de vent, le dégel brutal et le brouillard. Quant aux Inuits, ils ont mentionné, parmi leurs préoccupations, leur besoin de disposer d'une meilleure analyse des impacts du changement climatique sur les écosystèmes et la faune. À l'heure actuelle, les études visent surtout à définir les méthodes d'adaptation pour répondre à des problématiques liées à l'environnement bâti ou à l'aménagement de villages. Elles cherchent aussi, mais dans une moindre mesure, à mieux connaître les changements les plus importants reliés aux ressources et aux activités traditionnelles de chasse, de pêche et de cueillette.

ÉTUDE DE CAS 1

Des impacts à l'adaptation : l'étude de cas de Salluit

Afin de pallier la dégradation accélérée du pergélisol qui a lieu à Salluit, et atténuer les conséquences sur les infrastructures, le Centre d'études nordiques et Ouranos poursuivent le développement d'un modèle géologique et géothermique qui intègre l'ensemble des facteurs pouvant toucher la stabilité des sols. La partie de l'étude déjà réalisée fournit une cartographie (*voir* la figure 13) par couches d'information, qui permet d'identifier les sols sensibles et d'optimiser l'aménagement du territoire en tenant compte des impacts du changement climatique (Allard *et al.*, 2004). Dans l'ensemble des collectivités, les pratiques d'aménagement actuelles, y compris le maintien du drainage urbain, les méthodes de déneigement, le dessin des nouvelles rues et les concepts de fondations, devraient faire l'objet d'une révision en vue de limiter les impacts du changement climatique sur le terrain. Certaines décisions prises récemment devront peut-être être revues, comme le pavage des rues qui est susceptible d'accroître les transferts de chaleur dans le pergélisol, ce qui constitue une mauvaise adaptation. Diverses méthodes d'adaptation issues du génie civil, telles que les remblais à convection, les drains de chaleur et les surfaces réfléchissantes, feront l'objet d'expériences à Salluit dans le cadre d'un projet visant à évaluer leur rapport coût/efficacité, compte tenu des conditions prévalant dans les zones étudiées (Doré et Beaulac, 2005).

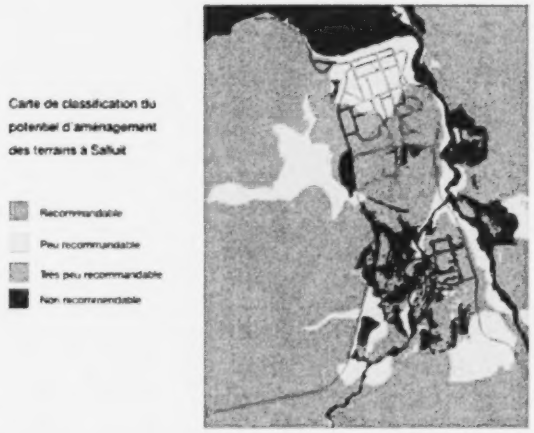


FIGURE 13 : Carte de la vulnérabilité et de la capacité d'accueil du terrain en regard de la construction d'infrastructures. Exemple de Salluit dans le Nunavik, au Québec (Solomon-Côté, 2004).

En résumé, la forte augmentation de la démographie régionale, le développement urbain conséquent ainsi que les changements liés à l'accès aux ressources et aux activités traditionnelles de chasse, de pêche et de cueillette sont principalement à l'origine d'une mutation socio-économique délicate aux multiples facettes. L'accélération de la fonte du pergélisol et les modifications climatiques accentuées augmentent les enjeux et en accélèrent le rythme d'évolution.

3.2. SOUS-RÉGION CENTRALE

Dans la sous-région centrale, l'environnement est caractérisé par la présence de la forêt boréale ainsi que de nombreux lacs, rivières et réservoirs (*voir* la figure 12). Alors que la saison froide prédomine dans la sous-région nord et que la chaude prédomine dans la sous-région sud, la durée de ces deux saisons se rapproche davantage dans le cas de cette région centrale. La neige est généralement beaucoup plus abondante dans l'est en raison de nombreuses tempêtes hivernales provenant de la côte est américaine. La densité de la population est faible et en décroissance, les économies locales dépendent souvent d'une seule industrie, mais l'activité économique du secteur primaire générée par l'exploitation des ressources naturelles (eau et forêt) stimule cependant la vigueur de l'économie de l'ensemble du Québec. Cette sous-région est appelée par Ouranos (2004) « région ressource » et, pour cette raison, les sensibilités au changement climatique de la forêt et de la ressource hydrique sont abordées ici.

3.2.1. Forêts

Depuis la dernière glaciation, la forêt du Québec a évolué sous un climat rigoureux conjugué à une dynamique des perturbations naturelles, ce qui a mené à la formation, du sud au nord, de grandes écozones forestières : l'érablière, la sapinière et la pessière. Le réchauffement climatique important constaté au cours du dernier siècle a déjà entraîné une modification de la dynamique entre le climat et la composition forestière (Forget et Drever, 2003). Le réchauffement appréhendé accélérera davantage la rupture de cet équilibre et entraînera des modifications de la composition et de la productivité des peuplements forestiers. La dynamique des perturbations naturelles (feux et insectes) et la fréquence des événements météorologiques extrêmes (sécheresses et verglas) sont également appelées à changer.

Croissance et productivité

Une augmentation de température peut agir directement sur la physiologie et le métabolisme et peut aussi se traduire par un allongement de la saison de croissance. Les signes d'un allongement de la saison de croissance sont déjà perceptibles. Bernier et Houle (2006) ont estimé que la date de débourrement de l'érable à sucre serait devancée de quelques jours depuis une centaine d'année, et Colombo (1998) a rapporté des résultats similaires pour l'épinette blanche. En Alberta, la date de floraison du peuplier faux-tremble serait devancée de 26 jours depuis les 100 dernières années (Beaubien et Freeland, 2000). En Europe, la saison de croissance de plusieurs espèces végétales s'est allongée de 11 jours depuis seulement 1960 (Menzel et Fabian, 1999).

Les résultats préliminaires de modèles de prédiction de croissance selon un scénario de doublement du CO_2 (2 x CO_2) semblent indiquer une augmentation de la productivité primaire nette des forêts de l'est du Canada, alors que celles de l'ouest seraient touchées de la manière contraire (Price et Scott, 2006). La plupart des modèles sont cependant basés sur les relations entre le climat et la croissance propres à diverses essences et ne tiennent pas compte des

facteurs potentiellement défavorables à la productivité. Le portrait plutôt positif du Québec doit être considéré comme un scénario optimiste, duquel des pertes potentielles devront être soustraites. Ainsi, l'émergence d'espèces exotiques ou de conditions de sécheresse plus fréquentes résultant d'une augmentation de l'évapotranspiration chez les végétaux pourraient annuler les gains de croissance (Kirschbaum, 2000; Johnston et Williamson, 2005).

Une hausse de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère aurait un effet fertilisant sur les forêts, entraînant une augmentation de la productivité primaire nette (Ainsworth et Long, 2005; Price et Scott, 2006). Des productivités accrues ont déjà été constatées dans les hautes et moyennes latitudes entre 1980 et 1999 (Nemani *et al.*, 2003), pour l'épinette noire à la limite nordique de son aire de répartition dès les années 1970 (Gamache et Payette, 2004) et pour le peuplier, dont la biomasse moyenne aurait augmentée jusqu'à 33 p. 100 (Gielen et Ceulemans, 2001). Toutefois, certaines études semblent indiquer que les gains seraient annulés après quelques années à cause de l'acclimatation aux nouvelles concentrations de CO_2, (Gitay *et al.*, 2001), ou limités en raison de la présence d'éléments nutritifs (Drake *et al.*, 1997) et d'autres facteurs (Kirschbaum, 2000; Johnston et Williamson, 2005).

Migration

Les analyses selon un scénario de 2 x CO_2 des différents biomes révèlent des déplacements d'aires géographiques importants aussi bien en latitude qu'en altitude, comme on l'a constaté dans les Rocheuses, en réaction à l'augmentation de la température moyenne de 1,5 °C au cours des 100 dernières années (Luckman et Kavanagh, 2000). La migration devrait néanmoins prendre plusieurs siècles puisque la capacité de dispersion demeure limitée. Par exemple, une hausse appréhendée de la température moyenne annuelle de 3,2 °C d'ici à 2050 (*voir* le tableau 2) pour la sous-région centrale provoquerait un déplacement des zones climatiques de 515 km vers le nord, correspondant à une vitesse de 10 km par an, soit une vitesse nettement supérieure aux vitesses de migration des arbres qui ne dépassent pas 500 m par an. La migration ne se ferait probablement pas par groupements d'espèces, compte tenu des vitesses de dispersion et des réponses physiologiques différentes selon les essences, et ce, aussi bien pour l'épinette noire et le pin gris (Brooks *et al.*, 1998) que pour les espèces en forêt mixte (Goldblum et Rigg, 2005). Enfin, la fertilité des sols pourrait limiter le déplacement des arbres, puisque les besoins en éléments nutritifs de la forêt varient selon les peuplements (érablière >sapinière >pessière; Houle, communication personnelle, 2006).

Perturbations

Le régime des perturbations naturelles joue un rôle important dans le façonnement du paysage forestier : il a un effet sur la composition, la structure et les processus inhérents aux écosystèmes. Ces perturbations comprennent les proliférations d'insectes, les feux de forêts, les maladies et les conditions climatiques extrêmes, telles que la sécheresse, le verglas et les vents violents. Un changement de conditions climatiques influencera la gravité, la fréquence et l'étendue de ces perturbations.

Le cycle vital court et la facilité des insectes à se déplacer leur permettraient de s'établir à des latitudes plus élevées à la faveur d'hivers plus doux, bien que la diminution de l'épaisseur du couvert nival puisse causer chez certaines espèces un rétrécissement de leur aire de répartition (Ayres et Lombardero, 2000). Il est toutefois difficile de prédire la réaction d'un insecte donné en raison des différences biologiques entre les espèces concernant la saisonnalité, les réactions thermiques, la mobilité et les plantes hôtes (Logan *et al.*, 2003). En se basant sur une modélisation à l'échelle du paysage, Régnière *et al.* (2006) ont révélé que la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* [Clem.]) verrait son aire de répartition augmenter de façon importante et que le Québec verrait la spongieuse (*Lymantria dispar* [L.]) s'étendre au sud, le dendroctone du pin ponderosa (*Dendroctonus ponderosae* [Hopk]) s'étaler d'ouest en est dans la forêt boréale et le longicorne asiatique (*Anoplophora glabripennis* [Motschulsky]) s'installer sur les érables, les ormes et les peupliers (Cavey *et al.*, 1998; Peterson et Scachetti-Pereira, 2004). À cela s'ajoutent l'introduction et l'établissement de nouvelles espèces exotiques dues à la mondialisation des échanges commerciaux et la diminution du temps de transit des marchandises (Ayres et Lombardero, 2000).

Pour ce qui est de la fréquence future des feux de forêts, une certaine incertitude persiste. En effet, alors que la plupart des modèles climatiques prédisent une augmentation des incendies pour l'hémisphère nord du fait de l'allongement de la saison de croissance et de l'augmentation de l'occurrence de la foudre (Wotton et Flannigan, 1993), la situation serait plus variable pour le Québec car, à cause de précipitations plus abondantes (Flannigan *et al.*, 2001), la fréquence des incendies augmenterait dans l'ouest et le nord, diminuerait à l'est et demeurerait constante au centre (Bergeron *et al.*, 2004) de la province. Selon un scénario de 3 x CO_2, Flannigan *et al.* (2005) estiment que la superficie brûlée augmenterait de 74 p. 100 à 118 p. 100. Les différences entre ces études découlent d'une fiabilité moindre des prédictions régionales reliées aux grandes écozones et de l'absence de considération des interactions potentielles avec d'autres perturbations (p. ex., proliférations d'insectes). Une grande incertitude subsiste également relativement à la fréquence, à l'ampleur et à l'intensité des événements extrêmes (vents violents, ouragans, tempêtes de verglas) par rapport aux forêts décidues (Cohen et Miller, 2001; Hooper *et al.*, 2001).

Une diminution de la durée de l'hiver a des impacts directs et immédiats sur les activités forestières et leur planification : la période d'accès aux sites (chemins d'hiver) est réduite et la saisonnalité des emplois, accentuée. Ce type d'impact direct intéresse les entreprises forestières, tout comme la diminution de l'épaisseur, la discontinuité ou la fonte précoce du couvert nival qui sont devenues des questions préoccupantes dans le cas des forêts de la sous-région sud. Le sol exposé à l'air ambiant est sujet au gel, causant des dommages importants aux racines des arbres, et ayant une incidence sur leur croissance (Boutin et Robitaille, 1995).

Stratégies d'adaptation

Les mécanismes d'adaptation présentent différents aspects. On peut, entre autres, évoquer l'adaptation aux effets anticipés d'un point de vue opérationnel ou encore dans la planification stratégique. On pourrait aussi passer de stratégies très concrètes concernant la mesure selon laquelle les chemins forestiers sont praticables ou des modifications à la machinerie, surtout dans les zones dépendantes des opérations hivernales, jusqu'à des considérations plus globales telles que la prise en considération des effets anticipés du changement climatique dans la planification stratégique de l'aménagement forestier. En intégrant les scénarios climatiques et

les connaissances sur la fertilité et les caractéristiques des sols forestiers, l'aménagement forestier pourrait favoriser l'adaptation au changement climatique.

Certaines pistes d'adaptation apparaissent incontournables, comme l'utilisation de semences mieux adaptées aux nouvelles conditions climatiques aux fins de reboisement, bien que seulement 15 p. 100 des superficies coupées soient actuellement reboisées. Cette mesure nécessite, cependant, que l'on dispose de bonnes prédictions climatiques régionales.

Pour ce qui est des feux de forêts, il existe déjà un ensemble de mesures d'adaptation, comme une surveillance accrue, un système d'alerte efficace et une amélioration des coupes de récupération (Wotton *et al.*, 2003). Ces adaptations pourraient ne pas suffire pour réduire l'impact du changement climatique sur le régime des feux si ces derniers venaient à augmenter de façon importante.

Étant donné la grande superficie couverte par la forêt au Québec, des mesures d'adaptation à grande échelle sont difficilement applicables. De plus, les incertitudes entourant les impacts potentiels du changement climatique sur la forêt en général, et plus spécifiquement à l'échelle régionale, limitent la mise en œuvre de mesures très précises à court terme.

En résumé, le changement climatique aurait pour effet d'allonger la période de croissance et de favoriser la migration vers le nord des zones de végétation. La fréquence et l'intensité des perturbations naturelles, comme la prolifération d'agents pathogènes et d'insectes ravageurs, augmenteraient, de même que les conditions climatiques extrêmes. Les stratégies d'adaptation visant à atténuer ces impacts, compte tenu de l'importance du domaine forestier au Québec, sont peu nombreuses à l'heure actuelle, et seraient mises en place au cas par cas, selon les caractéristiques biophysiques et socio-économiques des régions.

3.2.2. Production hydroélectrique

Au Québec, le secteur énergétique occupe une place prépondérante dans l'économie. L'électricité provient principalement de centrales hydroélectriques (96 p. 100) ainsi que de quelques centrales thermiques (pétrole, gaz naturel ou biomasse) et d'une centrale nucléaire, Gentilly-2. La puissance installée atteint 42 950 mégawatts (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2006c). Or, 80 p. 100 de cette puissance installée se trouve au nord du 49e parallèle et trois grands complexes hydroélectriques (Bersimis–Manic-Outardes, La Grande et Churchill Falls au Labrador) exploitent de vastes réservoirs (Institut national de recherche sur les eaux, 2004) afin de satisfaire la plus grande portion de la demande québécoise. Au nord, les centrales à réservoir représentent 95 p. 100 de la puissance installée, alors qu'au sud, les centrales au fil de l'eau représentent 95 p. 100 de la puissance installée, ce qui justifie qu'on distingue les impacts anticipés du changement climatique sur ces deux types de centrales. Il est également important de préciser que l'évolution du régime hydrologique dépend à la fois de l'évolution du régime des précipitations et des variations du régime thermique. En effet, la variation des températures est susceptible d'avoir une incidence sur les conditions d'évapotranspiration et d'évaporation des bassins versants et, par conséquent, d'intervenir de manière importante dans le cycle hydrologique (Guillemette *et al.*, 1999; Allen et Ingram, 2002).

Pour la partie nord de la sous-région centrale, tous les modèles climatiques présentent des températures plus chaudes et des précipitations plus abondantes. Les considérations suivantes ont été élaborées en relation avec des scénarios climatiques régionaux mais, étant donné le niveau d'incertitude, elles doivent être traitées avec circonspection.

Un régime thermique modifié entraînerait une réduction des précipitations sous forme solide et du couvert de neige. Il causerait aussi une augmentation du taux d'évapotranspiration durant la période d'eau libre, qui serait néanmoins compensée par une hausse importante des précipitations générales, résultant en une hausse du niveau des réservoirs.

L'hydrogramme anticipé (*voir* la figure 14) a été produit en alimentant un modèle hydrologique à partir de données climatiques constatées altérées en fonction de différences de températures et de précipitations, telles qu'elles sont suggérées par différents scénarios climatiques issus de modèles de circulation générale. On peut déduire, à partir de cette figure, que les apports naturels futurs seraient plus soutenus en hiver (de novembre à avril), que la pointe de la crue printanière serait devancée de deux à trois semaines, que le volume de la crue serait probablement réduit et que les apports estivaux seraient probablement moins considérables en raison d'une augmentation importante de l'évapotranspiration. Il faudrait envisager de réajuster le mode de gestion des réservoirs annuels, puisque ces derniers seraient alimentés plus tard en début d'hiver

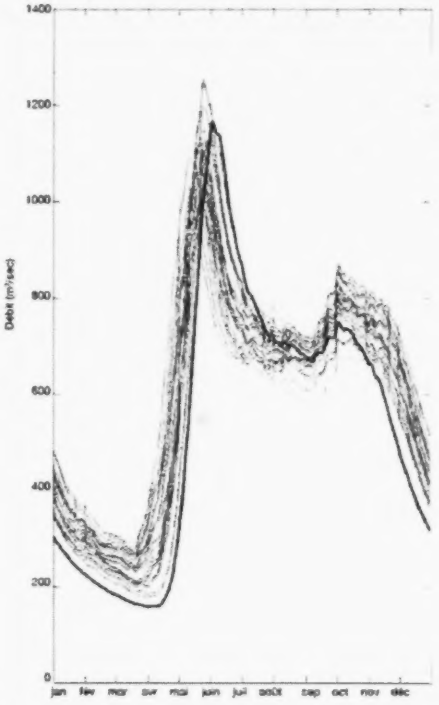


FIGURE 14 : Hydrogrammes annuels moyens simulés pour un bassin versant du nord québecois, à l'aide d'observations climatiques (trait gras : 1960 à 2002) et de projections climatiques (traits fins : 2041 à 2070) provenant de neuf modèles qui ont recours à plusieurs scénarios différents (Ouranos, 2007).

par davantage de précipitations à l'état liquide, tandis que les crues seraient hâtives et moins importantes. Le nouveau régime climatique aurait un effet régulateur naturel plus grand sur une base annuelle, rejoignant ainsi les conclusions avancées par les travaux de Slivitzky *et al.* (2004) utilisant les premières versions du MRCC.

Étant donné que la série des apports annuels (*voir* la figure 15) ne montre aucun changement de moyenne, de cycle ou de tendance du point de vue statistique, il a été convenu par Hydro-Québec, à des fins de planification d'équipements de production futurs, que la valeur moyenne des apports sur la période historique serait observée pour les prochaines années. Cependant, les scénarios climatiques disponibles montrent, sur une période de 50 ans, une tendance à la hausse des valeurs d'apports annuels moyens jumelée à des variations interannuelles plus grandes pour la sous-région, ouvrant une brèche dans l'hypothèse d'état stationnaire.

Par ailleurs, les périodes où les températures oscilleraient autour de 0 °C seraient plus fréquentes; ces périodes de l'année correspondent d'ailleurs à un niveau de remplissage élevé des réservoirs. En effet, les besoins importants de chauffage durant l'hiver nécessitent que les réservoirs soient remplis au début de l'hiver afin d'assurer une production d'électricité soutenue durant toute la saison froide. C'est précisément à cette période de l'année que les températures oscillant autour de 0°C auraient pour effet, soit de limiter les apports (précipitations sous forme de neige), soit de les augmenter, si les précipitations étaient sous forme liquide et qu'elles s'écoulaient sur un sol gelé ou recouvert d'une mince couche de neige. Ces conditions particulières exigeraient une révision des stratégies de remplissage des réservoirs de façon à limiter les risques de déversements non productibles, dont les conséquences financières sont considérables (Forget, 2007). Toutefois, si ces événements pluvieux se produisaient plus tard en hiver, durant les périodes de redoux, au moment où le couvert nival est plus important, la pluie serait absorbée par la neige et l'impact sur l'écoulement serait limité, d'autant plus que le niveau des réservoirs serait plutôt réduit en raison d'une production d'électricité intensive à cette période de l'année.

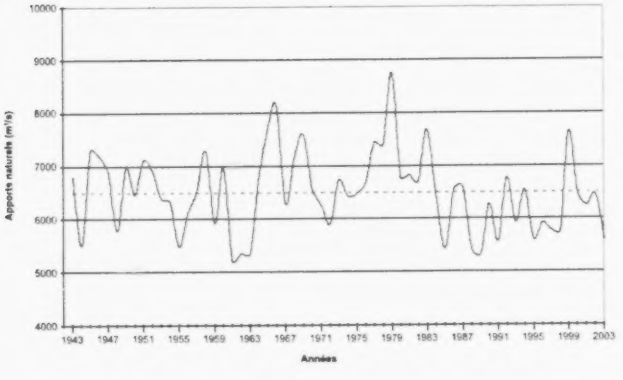


FIGURE 15 : Distribution des apports annuels moyens des bassins versants amenagés à des fins de production hydroélectrique au nord de 49e parallèle par rapport à la valeur moyenne (pointillé rouge) des apports (Ouranos, 2004).

Malgré le faible niveau de certitude, une augmentation de la fréquence des événements extrêmes associés au cycle de l'eau est envisagée. Une hausse de la fréquence des orages intenses, qui génèrent beaucoup de précipitations en un court laps de temps, demanderait qu'une attention particulière soit portée aux installations touchées et aux déversements non productibles plus fréquents. Mises à part les conséquences économiques que de telles situations induiraient, du moins la sécurité des ouvrages et des populations ne serait pas menacée. Par contre, dans le sud du Québec où une population dense vit à proximité des berges et des centrales au fil de l'eau, il faudrait montrer plus de vigilance. Il faudrait aussi en savoir davantage sur la fréquence et l'ampleur des événements extrêmes éventuels afin d'orienter les travaux de conception des nouveaux équipements, les équipements actuels ayant été conçus en fonction de critères de sécurité s'appliquant à des événements extrêmes passés.

Stratégies d'adaptation

Au Québec, la méconnaissance du régime hydrologique à venir préoccupe les gestionnaires des ressources hydriques et les enjeux économiques afférents sont élevés (Hydro-Québec, 2006). Il est cependant permis d'envisager différents éléments de stratégies d'adaptation couvrant un éventail de scénarios plus large quant à la hausse ou à la baisse des apports naturels. Les incertitudes élevées entourant les prévisions à long terme des apports naturels dans le nord du Québec ne permettent pas de statuer sur des mesures d'adaptation à mettre en œuvre rapidement. Compte tenu qu'Hydro-Québec possède une importante capacité financière et technique afin de faire face à tout enjeu, le choix des bonnes stratégies passe par l'amélioration des scénarios climatiques et une meilleure compréhension de leurs conséquences sur le régime hydrologique. En outre, vu l'étendue des terres humides dans le nord du Québec (15 p. 100 de la superficie de la région boréale est constituée de tourbières), une meilleure compréhension de leur rôle dans le bilan hydrologique apparaît nécessaire (Payette et Rochefort, 2001).

Par ailleurs, le potentiel hydroélectrique aménageable demeure considérable au Québec mais les impacts du changement climatique sur la disponibilité éventuelle des ressources hydriques devraient être considérés au moment de sélectionner les régions favorables à ce développement hydroélectrique, tout comme il faudra éventuellement en tenir compte dans l'élaboration des critères de conception des installations. À titre d'exemple, un régime hydrologique annuel plus régularisé entraînerait une capacité plus limitée d'emmagasinement des réservoirs, et une variabilité interannuelle plus grande justifierait le besoin de plus grands réservoirs afin de contrer les impacts de déficits hydrauliques étalés sur plusieurs années. Une solution permettant de réduire les risques reliés à des conditions hydrologiques incertaines est la diversification des sources d'électricité et l'intégration progressive au réseau de transport de la production éolienne, même si les régimes des vents, dans un contexte de changement climatique, sont aussi peu connus et subissent possiblement des influences. Pour ce qui est des installations de transport d'électricité, à la suite de la crise du verglas de 1998, les critères de conception ont été révisés de manière à rendre le réseau de transport (conducteurs et pylônes) moins vulnérable aux intempéries (Hydro-Québec, 2006).

3.3. SOUS-RÉGION MARITIME

La sous-région maritime comprend l'estuaire et une partie du golfe du Saint-Laurent, dont la Côte-Nord, le Bas-Saint-Laurent, la Gaspésie, les Îles-de-la-Madeleine et l'île d'Anticosti. La population de cette sous-région est passée de 430 000 personnes en 1971 à 395 000 personnes en 2004, et de 7,1 p. 100 à 5,3 p. 100 de la population totale du Québec (Statistique Canada, 2005). Plus du tiers de cette population, estime-t-on, vit à moins de 500 m des berges du Saint-Laurent et plus de 90 p. 100, à moins de 5 km. Les collectivités de la sous-région maritime sont généralement tributaires de la zone côtière quant à leur bien-être et à leur sécurité sur les plans économique et social, les collectivités de l'intérieur des terres s'apparentant davantage à celles de la sous-région centrale. Les principales industries (tourisme, pêche, pâtes et papiers, foresterie, alumineries et mines ainsi que transport maritime) dépendent d'infrastructures essentielles situées souvent dans la zone côtière (les routes provinciales 132, 138 et 199 de même que les ports) et des ressources de cette zone (plages, lagunes, marais côtiers). Une bonne partie de ces infrastructures est touchée par les processus climatiques et hydrodynamiques qui agissent sur la dynamique des berges. En ce qui a trait aux agglomérations, la plupart des villages côtiers ont été bâtis sur les dépôts friables faiblement consolidés qui bordent les côtes. La valeur du patrimoine bâti menacé par l'érosion d'ici 30 ans est importante : uniquement pour la Côte-Nord à l'est de Tadoussac, plus de 50 p. 100 des bâtiments des collectivités côtières abritant près de 100 000 personnes sont à moins de 500 mètres de la rive (Dubois *et al.*, 2006).

La géologie de la sous-région maritime se caractérise par la présence d'une forte proportion de dépôts meubles friables, pouvant s'éroder facilement sous l'action des processus hydrodynamiques de faible à moyenne énergie. À titre d'exemple, la Côte-Nord est essentiellement couverte de silts argileux postglaciaires surmontés de sables deltaïques, le tout reposant en discordance sur les formations granitiques précambriennes du Bouclier canadien (Comité d'experts de l'érosion des berges de la Côte-Nord, 2006). Ces dépôts meubles non consolidés, dont l'épaisseur peut atteindre une centaine de mètres, s'avancent dans le golfe et forment des deltas d'estuaires, des terrasses et des plages. Quant à la Gaspésie et aux Îles-de-la-Madeleine, leurs formations rocheuses appalachiennes sont constituées de grès et de schistes argileux faiblement consolidés, s'érodant facilement sous l'action du gel, du dégel, de la pluie et des processus hydrodynamiques qui attaquent le pied des talus, processus qui provoque régulièrement des éboulements et des glissements de terrain. L'érosion fluviale et marine de ces roches friables libère du sable et du gravier, à l'origine de nombreuses plages et des flèches sableuses abritant des lagunes ou des barachois. Dans l'estuaire du Saint-Laurent, de grands marais côtiers abritent ou servent de haltes migratoires à de nombreuses espèces animales. Dans certains cas, comme celui de l'oie sauvage, la majeure partie de la population mondiale se concentre dans cette zone pendant les migrations bisannuelles.

Vulnérabilité des zones côtières

Les zones côtières sont généralement vulnérables au changement climatique, et les rives du golfe du Saint-Laurent ne font pas exception. L'une des principales causes de cette vulnérabilité croissante est l'élévation du niveau des océans. Ce dernier engendre une augmentation des taux d'érosion, des risques d'inondation et d'infiltration d'eau salée dans la nappe phréatique ou, tout au moins, dans une prise d'eau municipale (Villeneuve *et al.*, 2001), ce qui constitue une menace pour les populations vivant à proximité de la ligne des hautes mers (Neumann, 2000; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001b; Zhang *et al.*, 2004). Bien que certaines études (Mörner, 2003) aient remis en question la réalité d'une hausse du niveau des mers, la plupart des modèles et des études anticipent une hausse de 18 à 59 cm au cours du XXIe siècle (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007). L'élévation du niveau de la mer varie, bien entendu, selon le taux de fonte des glaciers et calottes de glaces, ainsi qu'en fonction du réchauffement des eaux océaniques (une eau plus chaude prend de l'expansion), mais il varie aussi selon le taux du mouvement vertical de la croûte terrestre (relèvement isostatique), mesuré localement, et selon des facteurs qui modulent le niveau moyen de la mer (densité de l'eau de mer, constante gravimétrique locale et pression atmosphérique moyenne).

Dans le golfe du Saint-Laurent, McCullogh *et al.* (2002) ont passé en revue les taux historiques de variation du niveau moyen de la mer à Charlottetown (Île-du-Prince-Édouard), montrant que le niveau moyen a augmenté de 2,0 à environ 3,2 mm par année entre 1911 et 2000. La partie nord du golfe est en émergence à un taux qui tend à annuler l'effet de l'élévation du niveau de la mer. Une étude récente des taux historiques de variation du niveau de la mer dans le golfe (Xu *et al.*, 2006) a souligné la complexité des tendances constatées dans cette sous-région. Néanmoins, elle met aussi en relief une hausse importante de la fréquence des surcotes de tempêtes dans la région de Québec et dans la région sud du golfe pendant le XXe siècle. Cette tendance est confirmée par une analyse des surcotes pour l'ensemble du golfe faite à l'aide d'un modèle numérique (Daigle *et al.*, 2005). En se basant sur une hausse moyenne du niveau de la mer de 20 cm en 2050, Lefaivre (2005) a estimé que le taux net d'élévation du niveau de la mer sera de 14 cm à Québec et Rimouski d'ici à 2050. Même si cette variation du niveau moyen de la mer semble peu importante, l'étude de Xu *et al.* (2006) a indiqué que cette hausse pourrait réduire par un facteur de plus de trois tout le spectre des périodes de retour des surcotes à Rimouski.

Plusieurs autres facteurs climatiques peuvent avoir une incidence sur l'érosion des berges, dont la diminution de la période d'englacement et de la couverture de glace de mer (Bernatchez et Leblanc, 2000), ainsi que l'augmentation de l'activité cyclonique (Forbes *et al.*, 2004) et de la fréquence des cycles de gel-dégel. Les glaces peuvent contribuer à réduire l'érosion des berges en atténuant les vagues et en formant un écran protecteur qui stabilise les plages et les talus. Les premiers essais de modélisation des vagues à l'aide d'un modèle couplé climat-atmosphère à l'échelle régionale (Saucier *et al.*, 2004) prévoient une réduction de 60 p. 100 de la durée des glaces de mer vers 2050 et leur disparition totale avant la fin du XXIe siècle. Les plages seraient donc exposées aux tempêtes de l'hiver, en plus de celles de l'automne. Les données recueillies par le Comité d'experts sur l'érosion des berges de la Côte-Nord (Dubois *et al.*, 2006) ont démontré que les taux d'érosion ont fortement augmenté aux cours des dix dernières années, période pendant laquelle la couverture de glace dans le golfe, en particulier à la hauteur de la Côte-Nord, était beaucoup plus faible que la moyenne (Environnement Canada, 2007b).

Pour ce qui est de l'activité cyclonique, elle a un effet sur l'érosion des berges de deux manières. D'abord, l'intensité et la fréquence des tempêtes peuvent varier selon les conditions climatiques et modifier le nombre de surcotes causées par l'effet de baromètre inversé et le vent sur certaines côtes. Ensuite, l'organisation des systèmes cycloniques (provenance et trajectoires de dépressions) modifie le régime des vagues (hauteur, fréquence, direction) dans le golfe, ce qui a un effet sur la dérive littorale et le bilan sédimentaire des plages. Dans de nombreux cas, ces modifications peuvent prendre la forme d'un rehaussement ou d'un abaissement des plages, ayant pour effet d'augmenter ou de réduire la protection des talus contre l'érosion résultant des surcotes et des vagues. Daigle *et al.* (2005) ont mis en évidence d'importantes variations des extrêmes de températures et de précipitations entre 1941 et 2000 dans le golfe. Diaconesco *et al.* (2007) ont démontré que le régime des vents a changé au cours de cette période. Ces études révèlent que les changements ayant une incidence sur les conditions extrêmes se traduisent aussi par une réorganisation du transport des sédiments, ce qui expliquerait une partie des fluctuations des taux d'érosion des berges constatées dans plusieurs régions du golfe.

Les talus argileux de la Côte-Nord, ainsi que les falaises de grès friables des Îles-de-la-Madeleine et de la Baie-des-Chaleurs, sont sensibles à la gélifraction. Une augmentation du nombre de périodes de redoux hivernaux activerait l'érosion de ces falaises (Bernatchez et Dubois, 2004). D'autres facteurs climatiques peuvent aussi toucher de manière indirecte l'érosion des berges. L'augmentation des redoux hivernaux et la diminution de la quantité de neige ont pour effet d'étaler et de diminuer l'intensité des crues printanières. La diminution des crues favorise la capture du sable du front de mer dans les estuaires et les deltas côtiers, ce qui modifie le bilan sédimentaire des plages attenantes. L'absence de glace et de neige a également une incidence sur le bilan éolien et la formation des dunes de plages. Tous ces facteurs peuvent contribuer à déplacer l'équilibre des apports sableux, se traduisant par des modifications du taux d'érosion (Dubois, 1999).

Impacts du changement climatique et des activités anthropiques

Bien que l'érosion côtière soit un processus naturel existant depuis toujours dans la sous-région maritime, la vulnérabilité des collectivités côtières a augmenté depuis quelques décennies et devrait croître davantage à l'avenir en raison du changement climatique imminent (Morneau *et al.*, 2001). Toutefois, certains facteurs qui expliquent la hausse de la vulnérabilité des collectivités sont d'origine anthropique. Morneau *et al.* (2001) ont remarqué une hausse du nombre des constructions en bordure des rives depuis 1970, résultant de l'engouement accru pour la zone côtière dû au développement du tourisme et à la disponibilité des méthodes de protection des berges.

Ces méthodes de protection des berges ont permis aux pouvoirs publics de sauvegarder les infrastructures et les zones résidentielles ou industrielles construites en zone côtière. Toutefois, les technologies utilisées pour la préservation des berges, qui consistent pour la plupart en protections linéaires en enrochement et en érection de murs verticaux (béton, palplanche, pierres et caissons de bois), sont mal adaptées et causent des répercussions environnementales résiduelles importantes. L'une de ces répercussions les plus importantes est un déficit en matériel granulaire, tel que le sable, dans les zones protégées par un ouvrage. Sur la Côte-Nord, près de 40 p. 100 des talus actifs ont été protégés de l'érosion par des enrochements du pied de talus (Morneau *et al.*, 2001). L'effet cumulé de ces protections est de réduire de moitié les apports de sable issus de l'érosion des talus, ce qui a pour effet de provoquer l'affaissement des plages et l'augmentation de l'érosion des talus non protégés.

L'activité anthropique peut influencer les processus naturels qui agissent sur l'érosion des berges. À titre d'exemple, les modifications du régime hydrologique dues au détournement de rivières et à la présence d'installations hydroélectriques, le déboisement des berges, la destruction de la végétation des dunes par le passage de véhicules tout-terrain, les infrastructures côtières (jetées, quais, chenaux artificiels) ainsi que les égouts pluviaux municipaux, constituent autant d'activités et d'éléments qui peuvent modifier la dynamique sédimentaire et agir sur l'érosion des berges.

Quant aux enjeux liés au changement climatique associé aux zones côtières du golfe, ils sont élevés sur les plans économique, social et environnemental (Forbes, 1997). Le changement climatique augmentera considérablement la vulnérabilité des populations de cette sous-région, et ce, pour plusieurs raisons. D'abord, ces populations montrent déjà une vulnérabilité relativement à l'aspect socio-économique, ainsi qu'en témoignent les données sur la démographie, l'emploi, la croissance économique et autres indicateurs de stabilité économique et sociale. L'effondrement partiel des secteurs de la pêche et de l'exploitation forestière a déjà frappé durement cette sous-région. Dans ce contexte, les impacts futurs du changement climatique seront vraisemblablement négatifs et pourront varier selon la capacité d'adaptation préventive des populations concernées. Les tendances constatées sont cohérentes avec les conclusions avancées au chapitre consacré au Canada atlantique (*voir* le chapitre 4) et étroitement liées aux impacts sur l'écosystème marin, qui sera traité ci-après. De plus, les collectivités côtières sont déjà touchées par l'érosion des côtes (Dolan et Walker, 2003; Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation, 2003), un sujet traité régulièrement par les médias locaux. Par ailleurs, les coûts des pertes et dégâts occasionnés par l'érosion ainsi que des dommages causés aux infrastructures côtières sont en hausse depuis plusieurs années, et les projections indiquent qu'ils vont continuer d'augmenter rapidement si rien n'est fait pour corriger la situation.

En outre, le changement climatique agit sur plusieurs variables hydrodynamiques qui peuvent se conjuguer et causer une hausse importante du taux d'érosion et menacer l'intégrité des infrastructures côtières. Plusieurs de ces infrastructures, comme les routes, sont essentielles à l'ensemble de la population des régions touchées. Face aux problèmes de plus en plus fréquents et intenses posés par l'érosion et les événements extrêmes, les tendances constatées depuis quelques années indiquent que les résidents et les décideurs locaux réagissent généralement en appliquant des solutions improvisées (souvent dans des situations d'urgence), inappropriées et mal adaptées aux impacts à long terme. Le défi est maintenant de renverser cette tendance et amener les résidents et les décideurs à adopter une approche préventive à long terme en choisissant des stratégies et des méthodes d'adaptation qui minimisent les impacts indésirables sur l'environnement ou qui évitent d'empirer le problème (Klein *et al.*, 2001; Bruce, 2003; Parlee, 2004).

ÉTUDE DE CAS 2

Vers une gestion intégrée des zones côtières

La complexité des interactions anthropiques conjuguée à celle de la chaîne de causalité, qui relie le climat à l'érosion des berges, requiert une approche multidisciplinaire et globale pour faire face à cette problématique. Des études ont été amorcées en 1998 par le gouvernement du Québec, puis en 2002 par Ouranos, afin d'évaluer l'ampleur du problème de l'érosion des berges et d'estimer les impacts potentiels résultant du changement climatique (*voir* la figure 16). Ces études en cours comportent trois éléments : un suivi historique de l'évolution des berges du golfe du Saint-Laurent est en cours; une analyse détaillée, réalisée à l'aide de modélisation numérique à l'échelle régionale du climat et de l'hydrodynamique du golfe, permettra de mieux estimer la situation climatique future; un cadre de gestion intégrée des zones côtières, impliquant les collectivités et les décideurs locaux et régionaux qui seront appuyés par des scientifiques, est en voie d'instauration.

Une révision en profondeur des politiques et de la réglementation afférentes deviendra nécessaire par la suite (zonage municipal, schéma d'aménagement, gestion d'infrastructures essentielles, politiques de sécurité publique, méthodes de protection et réglementation). Les choix d'adaptation sont alors faits par des comités élus par l'assemblée des représentants des collectivités côtières.

Les outils d'adaptation en voie de développement sont des modèles numériques qui intègrent des données sur les circulations marines, les glaces, les vagues et les niveaux d'eau, et des systèmes de suivi et d'analyse de scénarios d'érosion. Il peut aussi s'agir de cartes montrant l'évolution du littoral sur 30 ans, selon des scénarios d'érosion qui tiennent compte des données disponibles, d'outils de communication et d'échange sur Internet, de documents mis à jour sur les méthodes de protection de berges ainsi que sur leurs impacts et leur efficacité. À titre d'exemple, la figure 16 a servi à l'adoption d'un règlement de contrôle intérimaire de gestion du littoral.

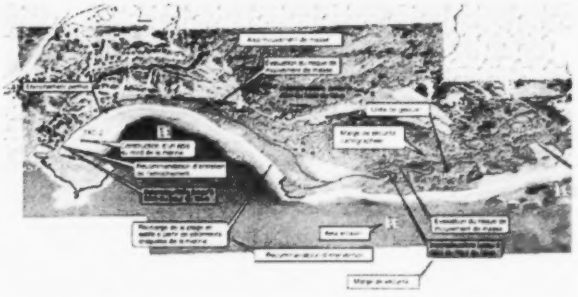


FIGURE 16 : Carte de zonage du risque d'érosion pour la Côte-Nord (*tiré de* Dubois *et al.*, 2006).

Un aspect important de l'adaptation est le développement d'une expertise locale et régionale au sein des décideurs et des intervenants de première ligne dans la gestion de la zone côtière (National Institute of Coastal and Marine Management of the Netherlands, 2004). Les projets en cours sur l'impact et l'adaptation au changement climatique dans la zone côtière du Golfe du Saint-Laurent intègrent des comités formés de décideurs et d'intervenants afin de bâtir un noyau régional de personnes disposant des connaissances scientifiques et techniques les plus à jour sur les facteurs qui contrôlent l'érosion des berges et la dynamique côtière dans leur région. Ce projet, complété en 2008, tend à montrer l'importance d'une approche équilibrée entre les connaissances issues de la science du climat et celles issues de l'évaluation des vulnérabilités, processus et implications in situ, intégrant les intervenants et acteurs de la problématique dans la compréhension et la recherche des meilleures options d'adaptation.

3.4. SOUS-RÉGION SUD

La grande majorité de la population du Québec est établie dans le sud du territoire (*voir* la figure 17), où se déroule le gros de l'activité économique, bien que cette sous-région soit la plus petite des quatre. Les impacts du changement climatique y seraient potentiellement nombreux, variés et parfois complexes, étant donné les interconnexions entre les infrastructures et les activités socio-économiques. Les régions rurales vivent d'une économie primaire et de transformation fragile, pouvant être directement touchée par le climat alors que les régions urbaines dépendent d'une économie tertiaire, où le climat peut agir indirectement (p. ex., défaillance d'infrastructures lors de la crise du verglas en 1998).

3.4.1. Énergie

L'économie du Québec est associée à une forte consommation d'énergie en raison de la structure industrielle, du climat, de l'étendue du territoire et du style de vie. En 2002, le secteur industriel représentait 39 p. 100 de la demande en énergie, celui des transports, près de 25 p. 100 et les secteurs commercial,

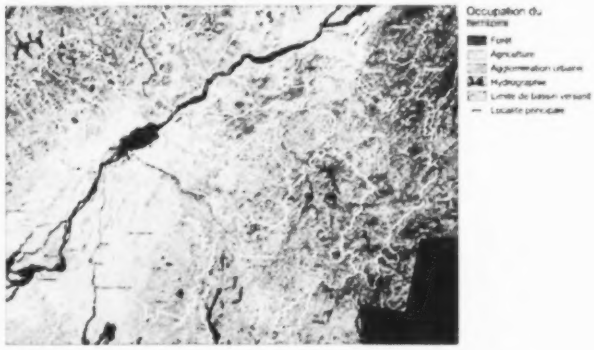


FIGURE 17 : La sous-région sud présente des enjeux différents. Le paysage rural se caractérise par un environnement naturel aménagé ou géré (agriculture, sylviculture, résidences) dans lequel les bassins versants peuvent jouer un rôle d'unité de gestion. Les milieux urbains, en croissance, sont dominés par une grande quantité et une grande variété d'infrastructures reliées aux besoins d'une population croissante et vieillissante (Ouranos, 2004).

institutionnel et résidentiel correspondaient à 37 p. 100 de la demande (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2004).

Pour plus de 38 p. 100 de ses besoins énergétiques, le Québec a l'avantage de pouvoir compter sur une électricité à 96 p. 100 d'origine hydraulique et la demande atteignait 41,5 millions de tonnes équivalent-pétrole (tep) en 2002, en hausse de 6 p. 100 sur l'année 2001 (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2004).

Les impacts du réchauffement sur la demande énergétique correspondraient à des besoins de chauffage moindres en hiver et des besoins de climatisation accrus en été. Le rapport entre la température, le chauffage et la climatisation dans le secteur résidentiel est bien connu et a fait l'objet de nombreuses analyses au cours des dernières décennies (Lafrance et Desjarlais, 2006). Les connaissances sur les besoins de chauffage et de climatisation dans les secteurs commercial et institutionnel sont toutefois plus limitées.

Les besoins de chauffage résidentiel à l'horizon 2050 diminueraient de 21 p. 100 (Sottile, 2006) et ceux en climatisation augmenteraient de 12 p. 100 (*voir* le tableau 5), résultant en une diminution nette (8,8 p. 100) des besoins énergétiques (Lafrance et Desjarlais, 2006) et des économies non négligeables (*voir* le tableau 6).

En 2001, la part de la climatisation commerciale et institutionnelle était supérieure au secteur résidentiel. En 2050, la demande d'énergie baisserait en hiver de 14,3 p. 100 et les besoins de climatisation dans les secteurs commercial et institutionnel augmenteraient de 3 p. 100, soit une baisse nette de 5 p. 100 à 11 p. 100 de la demande totale.

Selon le scénario de référence, la demande en énergie (chauffage et climatisation) dans l'ensemble des secteurs serait réduite de 2 p. 100 à 3 p. 100 en 2050. Les économies annuelles accrues s'élèveraient à plusieurs centaines de millions de dollars. Pour les régions au sud du Québec, la demande de pointe estivale en climatisation (entre 7 p. 100 et 17 p. 100) augmenterait, accentuant ainsi la vulnérabilité des réseaux de production, de transport et de distribution d'électricité, comme le rappelle la panne d'électricité (Black Out) de 2003 dans l'est de l'Amérique du Nord (sauf au Québec).

TABLEAU 5 : Impact des changements climatiques sur le chauffage et la climatisation dans le secteur résidentiel (p. 100) (Lafrance et Desjarlais, 2006).

	Impact (p. 100) sur le total			Impact (p. 100) sur la demande d'électricité		
	Chauffage	Climatisation	Net	Chauffage	Climatisation	Net
Scénario						
2030						
Optimiste	-7,5	3,4	-4,0	-5,8	4,3	-1,5
Médian	-11,0	4,4	-6,7	-8,6	5,5	-3,1
Pessimiste	-15,7	6,4	-9,2	-12,1	8,1	-4,0
2050						
Optimiste	-10,5	5,5	-5,1	-8,5	6,6	-1,9
Médian	-15,2	8,3	-6,9	-12,3	10,0	-2,3
Pessimiste	-21,1	12,3	-8,8	-17,1	14,8	-2,3

TABLEAU 6 : Économies réalisées dans tous les secteurs (résidentiel, commercial, industriel) selon les scénarios démographiques, économiques et climatiques, en millions de dollars 2003, sans taxe. Nota : Pour la définition des scénarios utilisés dans le tableau, *voir* Lafrance et Desjarlais, 2006.

Scénario de référence		Optimiste	Médian	Pessimiste
Résidentiel	2030	-197	-329	-453
	2050	-229	-313	-397
Commercial	2030	-77	-139	-206
	2050	-104	-166	-259
Industriel	2030	-56	-83	-118
	2050	-82	-117	-163
Total	2030	-330	-552	-776
	2050	-415	-596	-820

Stratégies d'adaptation

La plantation d'arbres, l'utilisation de volets, l'utilisation de revêtements de surface à plus grande réflexion, le recours aux toits verts ou l'usage de systèmes de refroidissement à faible consommation d'énergie (ventilateurs et systèmes de climatisation par évaporation) amoindriraient la hausse des besoins en climatisation et augmenteraient le degré de confort des résidences sans climatisation. La durée de vie des habitations étant de plus de 50 ans, leur conception doit être adaptée de façon à y intégrer l'installation de systèmes de climatisation efficaces (Lafrance et Desjarlais, 2006). Il serait utile de mieux connaître les répercussions d'une fréquence accrue des événements climatiques extrêmes sur le comportement des réseaux électriques et d'étudier les conséquences de divers scénarios climatiques alternatifs (Lafrance et Desjarlais, 2006).

Les réseaux d'électricité du Québec desservant également les États-Unis, la production d'hydroélectricité représente une possibilité de développer de nouveaux marchés, tout en réduisant les émissions des centrales locales (Lafrance et Desjarlais, 2006).

3.4.2. Agriculture

Les activités agricoles se concentrent essentiellement dans la sous-région sud, propice à l'agriculture grâce à son climat et à ses terres fertiles. Réagissant à différents facteurs socio-économiques, les superficies cultivées ont diminué depuis 1941, passant de 2,5 à 1,8 millions d'hectares en 2001 (Statistique Canada, 2002). Les activités agricoles continueront d'évoluer sous l'effet d'une multitude de facteurs, y compris celui du changement climatique, dont les impacts possibles peuvent se traduire aussi bien par des occasions d'affaires que par des pertes de revenus, tant sur le plan de la quantité que sur celui de la qualité de la production agricole, ainsi que sur l'utilisation des intrants (p. ex., eau, engrais, herbicides et pesticides).

Situation agroclimatique actuelle

La durée de la saison de croissance des cultures est un facteur agroclimatique fondamental qui conditionne le choix des cultures et les rendements. Selon Yagouti *et al.* (sous presse), les degrés-jours de croissance ont augmenté de 4 p. 100 à 20 p. 100 entre 1960 et 2003 dans l'ouest et le centre du Québec méridional, rendant la saison plus favorable à la majorité des cultures.

La variabilité interannuelle climatique passée permet d'évaluer l'état de la sensibilité actuelle du secteur agricole par rapport aux conditions climatiques. Pendant la période s'étendant de 1967 à 2001 (*voir* la figure 18), la plus importante baisse de rendement du maïs a eu lieu en 2000, année marquée par une humidité excessive et un ensoleillement insuffisant pour en favoriser la croissance (Environnement Canada, 2002). En conséquence, il y a eu un niveau record d'indemnisations des assurances-récoltes pour le maïs, soit 97 millions de dollars en 2000, contre 191 000 $ en 1999 (La Financière agricole du Québec, 2006). Pendant cette période, les sous-régions ont aussi montré des différences quant aux impacts de la variabilité climatique, en raison des différents environnements biophysiques – type de sol, topographie, température (Bryant *et al.*, 2005).

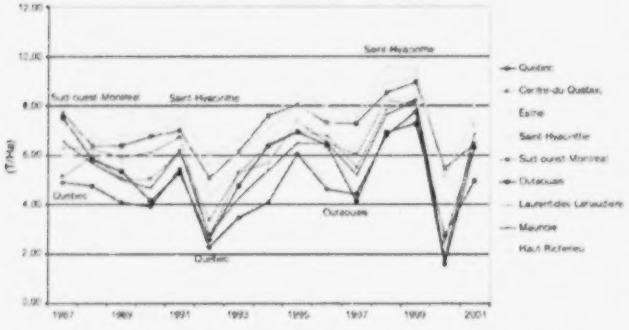


FIGURE 18 : L'évolution des rendements du maïs-grain tels qu'ils ont été rapportés par les agriculteurs dans leurs déclarations pour des indemnités, de 1987 à 2001, pour les différentes régions agricoles du Québec (Bryant *et al.*, 2007).

Impacts du changement climatique sur l'agriculture québécoise

Une augmentation importante des indices thermiques et de la durée de la saison de croissance pour le maïs, le soya, les céréales du printemps et les plantes fourragères est prévue pour les années à venir (Bootsma *et al.*, 2004, 2005a, b). Par contre, l'orge serait moins favorisée par ces changements. Aussi, il existe une probabilité accrue de stress hydrique pendant la saison de croissance des cultures puisqu'en moyenne, les augmentations de précipitations possibles ne peuvent compenser l'évaporation accrue causée par les températures plus élevées. Puisque l'efficience de l'utilisation d'eau par les plantes augmente sous une atmosphère enrichie en CO_2 (Bunce, 2004), l'évaluation des impacts combinés de ces différents facteurs sur la productivité des cultures s'en trouve compliquée.

Par ailleurs, les excès d'eau sont aussi dévastateurs en agriculture. En plus des questions sur les apports en eau, les changements d'intensité et le ratio pluie/neige des précipitations sont également à considérer (Nearing *et al.*, 2004), car ces aspects ont une incidence sur le ruissellement, l'érosion des sols et la qualité de l'eau. Les choix d'adaptation des producteurs agricoles peuvent augmenter ces risques appréhendés, dans le cas d'un accroissement des superficies où la gestion des cultures laisse le sol exposé à l'érosion, ou les atténuer, dans le cas d'une progression dans les pratiques de conservation des sols ou dans la qualité de la gestion des ressources en eau (Madramootoo *et al.*, 2001).

Les productions horticoles sont particulièrement sensibles aux stress hydriques et thermiques. De telles conditions touchent également les productions animales; la perte d'au moins 500 000 volailles en juillet 2002, malgré l'utilisation de systèmes de ventilation modernes, témoigne du danger que peuvent poser les vagues de chaleur.

Les conditions climatiques en dehors de la saison de croissance auront aussi des répercussions sur l'agriculture. D'après Rochette *et al.* (2004), il y aurait moins de risques de dommages dus aux premiers froids automnaux pour les arbres fruitiers, mais une plus grande probabilité de dommages dus aux pertes d'endurcissement. Pour les plantes fourragères, une diminution de la couverture de neige et une hausse des pluies hivernales augmenteraient les risques de mortalité en hiver, malgré des conditions automnales plus favorables à l'endurcissement (Bélanger *et al.*, 2002). Des conditions hivernales moins rudes auraient pour effet d'entraîner un plus grand gain de poids pour les bovins de boucherie élevés en plein air et de diminuer les besoins de chauffage pour les poulaillers et les porcheries.

Des modifications au niveau des populations d'agents pathogènes, des mauvaises herbes et des insectes sont inéluctables. Une évaluation de l'ampleur des impacts de ces éléments est cependant absente dans la plupart des études. Scherm (2004) a expliqué que cette lacune est due aux différences parfois importantes entre les scénarios climatiques, à l'existence des réponses non linéaires des systèmes biologiques aux paramètres environnementaux et à la capacité non prévisible des organismes de s'adapter génétiquement aux nouvelles conditions environnementales.

Ainsi, non seulement les interactions entre les facteurs climatiques sont nombreuses et complexes, mais aussi le rôle des agents décisionnels (producteurs, conseillers et autres intervenants) est crucial. Pour ces raisons, réaliser un portrait intégré des impacts et de l'adaptation potentiels du secteur agricole au changement climatique exige que l'on tienne compte de la situation décisionnelle des producteurs (Wall *et al.*, 2004). Le projet européen ACCELERATES (Assessing Climate Change Effects on Land use and Ecosystems; Rounsevell *et al.*, 2006) visait justement à intégrer divers modèles biophysiques et socio-économiques afin d'évaluer la sensibilité future des agroécosystèmes européens. Rounsevell *et al.* (2006) ont remarqué que les impacts les plus importants sont reliés aux scénarios économiques plutôt que climatiques et que la variabilité inhérente des résultats empêche de tirer des conclusions claires quant à l'avenir de l'agriculture. Le défi agricole est de bien définir les questions et les applications pertinentes des scénarios climatiques selon ses forces, et ses faiblesses mêmes, et d'y intégrer de façon appropriée les dimensions socio-économiques qui lui sont propres.

Stratégies d'adaptation

Au niveau des entreprises agricoles

Sur le terrain, les producteurs estiment posséder les outils et les moyens leur permettant d'adapter la gestion de leurs entreprises au changement climatique, du moins à moyen terme (André et Bryant, 2001; Bryant *et al.*, 2007). Dans le cas des élevages, il existe des recommandations susceptibles d'aider les producteurs à prendre soin des animaux pendant les périodes de chaleur afin de diminuer leur stress (Blanchard et Pouliot, 2003). Elles portent sur la densité des animaux à l'intérieur des bâtiments, sur leur alimentation et sur la ventilation et la brumisation des bâtiments; aussi, les élevages en plein air bénéficieraient davantage d'abris et d'abreuvoirs.

Quant aux cultures, les dates des semis et des récoltes seront adaptées à l'évolution de la saison de croissance. Les producteurs pourront aussi choisir des cultivars utilisés actuellement dans les régions plus au sud. Bien que la diversification des cultures soit souvent considérée comme une stratégie de gestion des risques liés au changement climatique, Bradshaw *et al.* (2004) ont conclu qu'en dépit de la diversification régionale de l'agriculture des prairies canadiennes constatée après 1994, les fermes elles-mêmes se sont spécialisées davantage.

Différentes pratiques agricoles, telles que l'établissement de bandes riveraines, la gestion des résidus au champ ainsi que les dates et les méthodes d'application des engrais, ont été élaborées afin de protéger la qualité de l'environnement. Elles seraient réévaluées et renforcées si l'intensité des événements hydrologiques, comme les précipitations et les inondations, augmentait. D'ailleurs, une saison de croissance plus longue favoriserait l'établissement des cultures de couverture qui protègent le sol contre les effets de l'érosion et le lessivage des éléments nutritifs après la récolte de la culture principale.

Au niveau des institutions

Plusieurs programmes et règlements fixent les normes relativement aux pratiques agricoles. Il est à remarquer que les règles concernant la contenance des ouvrages de stockage des fumiers, les dates limites pour l'ensemencement, la récolte des cultures et l'épandage des fumiers ont toutes un lien avec les conditions climatiques anticipées. Au moment d'une révision de ces normes, il serait opportun de tenir compte de l'évolution climatique afin de favoriser une adaptation appropriée des pratiques par les producteurs.

Grâce à l'appui des ressources gouvernementales, certaines pertes reliées aux conditions climatiques problématiques peuvent être prévenues et atténuées. Ainsi, le Réseau d'avertissements phytosanitaires renseigne les producteurs sur la présence et l'évolution des ennemis des cultures ainsi que sur les stratégies d'intervention les plus appropriées, s'appuyant sur les prévisions des modèles mathématiques établis à partir de données climatiques. Bourgeois *et al.* (2004) ont souligné que l'évolution climatique nécessiterait que ces modèles soient révisés de manière à tenir compte des réponses non linéaires aux températures plus élevées.

Il en va de même pour la question de l'eau, qui demande une planification et une coordination des activités adaptées au niveau régional. Déjà plusieurs projets de micro-irrigation se déroulent dans les champs de cultures horticoles. Cette méthode permet d'utiliser la ressource hydrique plus efficacement et représente un gain pour l'environnement.

3.4.3. Gestion de l'eau

Eaux de surface

Les eaux de surface représentent environ 80 p. 100 des volumes d'eau utilisés au Québec (Mailhot *et al.*, 2004; Rousseau *et al.*, 2004). Bien que cette ressource névralgique soit abondante au Québec, les impacts qu'aura le changement climatique sur celle-ci ne sont pas à négliger (Rousseau *et al.*, 2003; Nantel *et al.*, 2005). Deux aspects sont à considérer au préalable, soit : 1) les impacts sur la quantité d'eau disponible et sur la qualité des eaux brutes (Hatfield et Prueger, 2004; Booty *et al.*, 2005) et 2) les impacts sur les usages ou sur des usagers du territoire (Lauzon et Bourque, 2004; Lemmen et Warren, 2004). Les impacts sur la disponibilité en eau, par exemple, seront liés aux modifications des fréquences d'occurrence et de l'ampleur des étiages et des sécheresses (Institut national de recherche sur les eaux, 2004), alors que la vulnérabilité des systèmes d'approvisionnement en eau potable dépendra de l'ampleur des changements (qualitatif et quantitatif) mais surtout de la capacité des infrastructures et des organisations à y faire face, domaine au sujet duquel peu d'évaluations sont disponibles à l'heure actuelle.

Outre l'approvisionnement, les différents usages de l'eau sont considérés comme des instruments de développement économique et régional. En zones rurale et urbaine de la sous-région sud, les usages de l'eau sont majeurs et nombreux : prélèvements pour des utilisations différentes, telles que l'embouteillage, l'approvisionnement industriel, municipal, piscicole, agricole et minier, ou pour utilisation sur place, comme dans le cas de la production hydroélectrique, du transport fluvial, des usages récréatifs, de la pêche et de l'évacuation des eaux usées (Vescovi, 2003; Ouranos, 2004). Étant donné les tendances démographiques et socio-économiques présentées plus tôt et considérant que 65 p. 100 de la population du Québec vit déjà dans des bassins hydrographiques urbains et 32 p. 100 vit dans des bassins modérément urbains (Statistique Canada, 2005), la pression sur les bassins versants méridionaux favorisera l'accroissement de la vulnérabilité. Vient s'ajouter à ceci la possibilité soulevée par le tableau 4 et présentée dans des travaux récents (Turcotte *et al.*, 2005; Rousseau *et al.*, 2007), aux termes desquels le changement climatique apporte une saison chaude aux températures plus élevées mais sans supplément suffisant de précipitation pour compenser l'évaporation accrue, menant ainsi à des modifications hydroclimatiques susceptibles de favoriser l'amplification des conflits d'usages. Ces conflits suscitent déjà un intérêt parmi plusieurs groupes, intérêt ayant permis, par exemple, d'adopter une nouvelle politique de l'eau (Gouvernement du Québec, 2002) qui devient un outil pouvant contribuer à diminuer les vulnérabilités.

En ce qui a trait à la production hydroélectrique, même si les impacts prévus du changement climatique – surtout un début de gel tardif et un printemps précoce – pourraient en favoriser la production, les contraintes associées à la couverture de glace en amont des centrales s'accentueraient. En effet, une formation récurrente de la couverture de glace au cours d'un même hiver aurait une incidence sur le rendement des centrales sur une longue période. En outre, l'alternance plus fréquente de périodes de gel-dégel pourrait entraîner des problèmes de frasil et d'embâcles plus fréquents et réduirait d'autant le rendement de ces centrales tout en engendrant d'autres risques. D'ailleurs, selon Prowse et Beltaos (2002), une augmentation de fréquence de redoux hivernaux aurait tendance à augmenter le risque d'embâcle pour d'autres régions du pays.

Fleuve Saint-Laurent

De pair avec l'ouvrage intitulé *S'adapter aux changements climatiques* (Ouranos, 2004), qui offre une synthèse des connaissances spécifiques à ce grand fleuve drainant le sud du Québec et le centre de l'Amérique du Nord, on note l'étude de Croley (2003), qui a utilisé les sorties de quatre modèles de circulation générale pour estimer que la quantité d'eau transitant du lac Ontario vers le Saint-Laurent serait réduite de 4 p. 100 à 24 p. 100 sur une base annuelle. En utilisant une méthode similaire, Fagherazzi *et al.* (2005) ont conclu en une faible réduction des débits variant de 1 p. 100 à 8 p. 100 de la rivière des Outaouais, le principal tributaire du Saint-Laurent. En combinant ces deux résultats, Lefaivre (2005) a conclu que les niveaux du Saint-Laurent serait réduits dans le secteur de Montréal d'un maximum de 20 cm à 1,2 m selon le scénario. Ceci réduirait considérablement la surface d'eau libre dans le fleuve, et particulièrement au lac Saint-Pierre qui est peu profond, générant tout le long du fleuve des impacts de nature similaire à ceux identifiés plus haut mais d'envergure potentielle différente vu la grandeur de la région touchée.

C'est dans ce contexte que le Comité de concertation navigation du Plan d'action Saint-Laurent a étudié les options d'adaptation qui permettraient le maintien des activités maritimes et portuaires à leur niveau actuel (D'Arcy *et al.*, 2005). En explorant différentes options d'adaptation, l'étude constate que si les baisses de niveau d'eau sont faibles, l'amélioration des prévisions à long terme permettrait d'optimiser les critères de marge de sécurité que les transporteurs établissent lors des chargements outre-mer, diminuant leur vulnérabilité. Si les baisses sont plus importantes, des adaptations d'ordre organisationnel, comme la réorganisation du transport maritime et ses infrastructures, ou d'ordre technologique, comme l'adaptation des vaisseaux afin de minimiser le tirant d'eau requis, semblent théoriquement réalisables mais paraissent difficile à appliquer dans un contexte d'échanges économiques croissants et des investissements majeurs requis pour une telle réorganisation (de 260 millions de dollars à 1 milliard de dollars). Finalement, des adaptations du milieu physique, comme le dragage et les ouvrages de régularisation, peuvent permettre de diminuer la vulnérabilité du transport maritime, mais occasionnerait, par contre, des répercussions environnementales considérables, dont les incidences et les coûts reliés aux mesures de compensation seraient difficiles à mesurer avec précision.

Il convient de souligner quelques initiatives illustrant le désir de plusieurs instances à minimiser les risques et conflits que pourraient engendrer une diminution marquée des niveaux d'eau. La Commission mixte internationale (CMI) a initié, il y a plusieurs années, une vaste étude sur l'évaluation de différents plans de régularisation des débits. Plusieurs plans de gestion éprouvés incluaient l'analyse des débits en conditions de changement climatique (Commission mixte internationale, 2006) et les options proposées pourraient faciliter l'adaptation. Cette évaluation visait même à aborder, par exemple, les avantages des terres humides par rapport aux avantages et pertes économiques des plans de régularisation. De plus, les gouvernements du Québec, de l'Ontario et des huit États américains des Grands Lacs, ont signé en décembre 2005 l'Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent qui vise à maîtriser les prélèvements d'eau sur l'ensemble du bassin, dans tous les secteurs, et interdit notamment les dérivations hors du bassin. L'entente fait explicitement référence au changement climatique et au principe de précaution (Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, 2005).

Eaux souterraines

Elles sont la source de 20 p. 100 des approvisionnements en eau potable au Québec. Rivard *et al.* (2003) ont constaté que la recharge annuelle des ressources en eau souterraine semble rester stable ou diminuer légèrement depuis les dernières décennies au Québec et dans les Maritimes alors que les précipitations et les températures tendent à augmenter. Des baisses significatives de disponibilité en eau souterraine auraient d'importantes répercussions, surtout en zone rurale où une proportion non négligeable de la population (26 p. 100 en Chaudière-Appalaches contre 10 p. 100 au Québec) s'approvisionne en eau souterraine à l'aide de puits individuels (Régie régionale de la santé et des services sociaux de Chaudière-Appalaches, 2001). Leur vulnérabilité est d'autant plus grande que les connaissances au sujet des nappes d'eau souterraine au Canada accusent encore des lacunes. Au Québec, la cartographie de l'aquifère du bassin de la rivière Châteauguay (Côté *et al.*, 2006) représente un pas dans la bonne direction. De plus, sur ce même bassin, plusieurs projets de recherche démarrés en 2006 et supportés par Ouranos et le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), tentent d'améliorer le niveau des connaissances sur le plan des systèmes intégrant à la fois les eaux de surface et les eaux souterraines, entre autres, à l'aide de la modélisation couplée. Ces connaissances permettront de contribuer à l'étude de la vulnérabilité de ces aquifères à l'échelle locale.

Gestion des réservoirs des bassins versants méridionaux : le cas du bassin du Haut-Saint-François

Pour évaluer la capacité des plans de gestion actuels des bassins versants méridionaux de s'adapter aux impacts hydroclimatiques appréhendés, un projet pilote a été réalisé sur le bassin du Haut-Saint-François situé dans la région du centre-sud du Québec (Turcotte *et al.*, 2005; Fortin *et al.*, 2007). D'une part, l'approche était basée sur des scénarios de changement climatique (Chaumont et Chartier, 2005) et sur la modélisation hydrologique au pas de temps journalier pour évaluer l'impact sur l'hydrologie des bassins versants. D'autre part, elle s'appuyait sur un modèle simulant l'application quotidienne des plans de gestion des réservoirs Saint-François et Aylmer.

Les résultats sont similaires à ceux obtenus pour le bassin versant de la rivière Châteauguay (*voir* l'étude de cas 3): les répercussions sur l'intensité des pointes de crues printanières (devancées et généralement moins fortes), estivales et automnales, sur les débits hivernaux, l'ampleur des étiages (étiages hivernaux soutenus et estivaux plus faibles) et l'intensité des augmentations annuelles de volume sont variables selon le modèle de circulation générale et le scénario d'émissions de GES utilisés (*voir* la figure 20). Dans le cas de l'analyse des plans de gestion, l'exercice de modélisation montre que le changement climatique, tel que simulé par les modèles ECHAM4 et CSIRO, entraînerait une modification des agencements actuels des différents usages de l'eau des réservoirs (*voir* la figure 21). Aucune adaptation majeure ne serait requise si le climat changeait tel que simulé par HadCM3. Dans les deux premiers cas, en revanche, devancer les périodes de remplissage des réservoirs et rehausser les niveaux minimum s'avéreraient des mesures d'adaptation nécessaires.

ÉTUDE DE CAS 3

Crues sur le bassin versant de la rivière Châteauguay

L'exemple du bassin versant de la rivière Châteauguay sert à illustrer la problématique des crues, surtout printanières, dans un contexte de changement climatique. Comme plusieurs l'ont démontrés, les inondations provoquées par les crues de rivières demeurent l'un des événements hydroclimatiques extrêmes les plus dommageables (Ashmore et Church, 2001; Brissette *et al.*, 2003; Ouranos, 2004) auxquels le Québec tente continuellement de mieux s'adapter (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 1996). Pour analyser les impacts potentiels, Caron (2005) et Mareuil (2005) ont mené sur ce bassin versant un exercice de modélisation basé sur un générateur stochastique de climat, comprenant les anomalies mensuelles de températures et de précipitations tirées de trois modèles de circulation générale : MCCG2, HadCM3 et ECHAM4.

Les scénarios dégagés du modèle ECHAM4 pour l'horizon 2050 indiquent une diminution des crues printanières statistiquement significative pour les périodes de retour de 2 à 500 ans. Les modèles HadCM3 et MCCG2 présentent des résultats similaires (mais statistiquement non significatifs), soit une diminution des crues pour des périodes de retour courtes mais une augmentation pour des périodes de retour plus longues. Pour la période estivale, HadCM3 montre une légère augmentation de l'intensité des crues, et ce, pour toutes les périodes de retour (mais statistiquement non significative). Quant aux modèles ECHAM4 et MCCG2, ils indiquent une diminution statistiquement significative de 8 p. 100 à 10 p. 100.

Un autre exercice de simulation hydrologique a été mené sur la rivière des Anglais, un tributaire de la rivière Châteauguay (*voir* la figure 19). Les modèles Hydrotel et HASMI, utilisant six réalisations climatiques futures (trois modèles, soit ECHAM4, HadCM3 et CSIRO, auxquels les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre A2, B2 sont appliqués), indiquent des pics de crue devancés, passant de la fin d'avril, pour la période de 1961 à 1990, au début de mars au cours de la décennie 2050. Il semblerait qu'il y ait également un changement de volume des crues car HadCM3 projette une hausse du volume des crues printanières et ECHAM4 montre une baisse importante, alors que les résultats avec CSIRO se situent entre les deux autres modèles. Ces écarts s'expliquent par les différences d'évolution des températures et des précipitations projetées par ces modèles climatiques. Enfin, l'exercice semble indiquer une baisse des débits d'étiage causée par une hausse des volumes d'évapotranspiration, et ce, en dépit d'une hausse des précipitations (Pugin *et al.*, 2006).

Malgré ce constat, les évaluations sur le ruisseau Norton (un sous-bassin de la rivière des Anglais) des teneurs en eau des couches

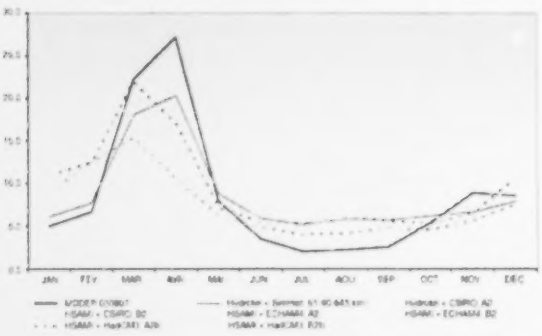


FIGURE 19 : Hydrogrammes moyens annuels simulés par les modèles hydrologiques Hydrotel et HSAMI à l'exutoire du ruisseau des Anglais. Les simulations ont été réalisées par rapport à la période de référence de 1961 à 1990 et la décennie 2050 couvrant les années 2040 à 2069 (Chaumont et Chartier, 2005).

supérieures du sol à l'aide d'un modèle de bilan montrent une augmentation des besoins en eau d'irrigation des terres agricoles, en raison de la hausse de l'évapotranspiration des plantes due à des températures accrues. En tenant compte de certaines contraintes de nature environnementale reliées au prélèvement de la ressource dans les cours d'eau et malgré la relative dispersion des résultats des différents scénarios climatiques analysés, l'étude conclut que, pour maintenir la proportion des besoins futurs en eau d'irrigation, besoins actuellement comblés à partir des eaux de surface, il faudrait planifier la ressource hydrique de façon plus concertée et sur la base d'une gestion globale et intégrée à l'échelle du bassin versant (Pugin *et al.*, 2006).

Enfin, Leclerc *et al.* (2006) ont indiqué qu'à Châteauguay même, les inondations causées par les embâcles résultent surtout du comportement du bassin hydrologique et de la présence de glace s'accumulant sur la rivière. Quant aux inondations en eau libre, elles résulteraient davantage des niveaux fluctuants du fleuve, provoquant les inondations récurrentes que connaît cette municipalité. Ainsi, pour ce qui est du sud du Québec et, en particulier, du bassin versant de la rivière Châteauguay, les impacts appréhendés du changement climatique prennent la forme de crues printanières devancées et d'intensité accrue. Plus indirectement, des variations des niveaux du Saint-Laurent et de la rivière des Outaouais, ainsi que de crues estivales en eau libre variables, sont à prévoir.

Mesures d'adaptation

Les mesures d'adaptation considérées sont nombreuses. Selon les problématiques étudiées, on retrouve, par exemple, la réhabilitation, voire la relocalisation de certaines prises d'eau, l'amélioration de l'efficacité de traitement, la réduction des volumes d'eau perdus en réseau et l'augmentation des capacités des réserves. Les mesures recommandées portent autant sur les infrastructures que sur les modes de gestion (un programme d'économie d'eau).

Les études préliminaires touchant la gestion des crues, comme celles abordant la problématique de la satisfaction des besoins futurs en eau d'irrigation et potable ainsi que des écosystèmes, démontrent que ces problématiques devront être abordées selon une approche favorisant la gestion globale et intégrée de la ressource hydrique à l'échelle d'un bassin versant. Par ailleurs, les grands centres urbains, qui dépendent des eaux de surface, semblent vulnérables à toute modification des niveaux du fleuve Saint-Laurent. Lorsqu'ils peuvent compter sur des eaux souterraines suffisamment abondantes, les milieux ruraux sont eux, en termes quantitatifs, moins vulnérables. Outre la quantité, la question de la contamination des eaux serait problématique comme l'indique la section 3.5.1. De manière générale, le défi d'adaptation pour les petites municipalités, dont les moyens sont plus limités, est plus

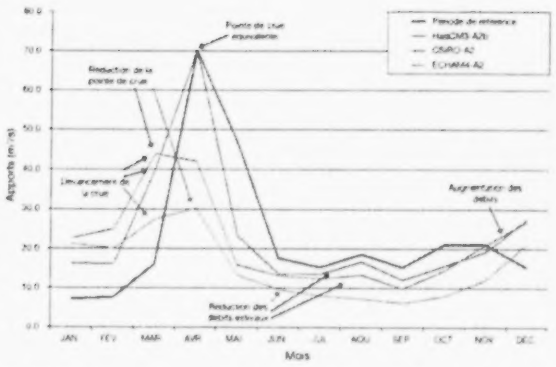


FIGURE 20 : Apports mensuels au lac Saint-François (Turcotte *et al.*, 2005).

considérable que pour les grandes agglomérations. Là encore, les solutions d'adaptation passent idéalement par une gestion globale, intégrée et adaptée du cycle de l'eau des bassins versants méridionaux ainsi que du système des Grands Lacs et du Saint-Laurent. Elles doivent être élaborées dans un contexte d'aménagement territorial durable, respectant les réalités socio-économiques et environnementales.

Quant aux infrastructures de gestion des eaux, le dimensionnement des réseaux de drainage a été réalisé à partir de critères statistiques de récurrence issus d'analyses d'historiques de précipitations et dont les données constatées sont disponibles pour un site donné (Mailhot et Duchesne, 2005). La modification appréhendée des récurrences des événements de pluie intense devrait résulter en une augmentation des débordements de réseaux, des refoulements, voire des inondations. Dans un contexte d'infrastructures vieillissantes de surcroît, Mailhot *et al.* (2007) ont souligné que les répercussions d'une augmentation probable des intensités et probabilités d'occurrence des événements de pluie intense (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007) seraient limitées : 1) par la révision de critères de conception des infrastructures et édifices; 2) par de nouvelles façons d'utiliser les statistiques de précipitations intenses au moment du dimensionnement (Duchesne *et al.*, 2005); mais surtout, 3) par l'amélioration du contrôle à la source grâce à un aménagement urbain optimal et une maximisation de l'infiltration, et ce, surtout dans un contexte où les infrastructures et bâtiments en place aujourd'hui y seront encore pour plusieurs décennies.

Enfin, les stratégies d'adaptation, qui devraient comprendre des plans de gestion plus robustes que ceux d'aujourd'hui, seront définies pour chacun des scénarios climatiques dans une approche de meilleure gestion des risques, puisqu'il semble pour l'instant difficile de trouver une stratégie unique pour l'ensemble des scénarios. Les résultats ont démontré (Turcotte *et al.*, 2005) que le consensus actuel des plans de gestion des barrages devra être discuté par les intervenants du milieu, et ce, bien qu'il n'ait pas été possible de définir une solution d'adaptation générale qui puisse satisfaire l'ensemble des scénarios climatiques étudiés. Une approche préventive minimiserait les risques et des scénarios climatiques plus raffinés et plus représentatifs du climat futur, s'appuyant sur des méthodes de mise à l'échelle plus évoluées, permettraient de minimiser les incertitudes. On pourrait alors mieux préparer le milieu quant à la modification éventuelle des règles de gestion pour qu'il puisse s'adapter aux réalités à venir. Ainsi, pour faciliter l'adoption d'une stratégie d'adaptation faisant consensus, il y aurait lieu de mieux intégrer chacune des étapes de modélisation (permettant de bien connaître le système étudié) dans le cadre d'une gestion intégrée et participative des bassins versants. D'ailleurs, en matière de gestion de l'eau, on peut dire qu'au même titre que la gestion par bassin versant s'impose dans les esprits comme une des meilleures approches de planification de l'adaptation au changement climatique, de même, il devient de plus en plus évident que la perspective du changement climatique doit, en retour, être elle aussi intégrée à la planification de la gestion par bassin versant. Ces deux volets d'activités s'intègrent naturellement et mutuellement l'un à l'autre.

	Plan de gestion actuel				Gestion adaptée ECHAM4 A2			Gestion adaptée CSIRO A2		
	Période de référence	ECHAM4 A2	CSIRO A2	HadCM3 A2b	ECHAM4 A2	CSIRO A2	HadCM3 A2b	ECHAM4 A2	CSIRO A2	HadCM3 A2b
Risque de rupture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dommages aux réservoirs (amont)	14	0	8	12	8	39	82	0	6	29
Villégiature	481	2634	1137	480	461	182	61	2028	461	213
Alimentation en eau	0	310	15	0	0	0	0	272	0	0
Dommage au lac Louise (aval)	16	4	17	13	4	16	29	2	12	12
Production d'énergie	586	364	523	570	345	492	496	389	526	567

Compromis actuel

Impact positif

Impact négatif

Adaptation non nécessaire ou négligeable

Niveau minimum rehaussé

Période de remplissage devancée

Période de remplissage devancée

FIGURE 21 : Simulations du plan de gestion actuel des réservoirs Saint-François et Aylmer dans un contexte de changement climatique à l'horizon 2050, selon les modèles et les scénarios ECHAM4 A2 et HadCM3-A2b. Les chiffres du tableau correspondent au nombre de jours sur 30 ans (1961 à 1990) pendant lesquels des contraintes du plan de gestion (pour des usages spécifiques) ne sont pas respectées. Ces contraintes sont des niveaux d'eau des réservoirs et des débits en rivière (Fortin *et al.*, 2007).

3.4.4. Tourisme et loisirs

Le tourisme est l'une des activités économiques importantes potentiellement touchée par le changement climatique du fait de sa contribution au produit intérieur et à l'emploi. Or, le climat est l'élément premier influençant les activités touristiques sportives et de plein air, soit directement (soleil, beau temps, neige et glace), soit indirectement (paysages et végétaux). Il détermine, par exemple, la nature et la durée des activités concernant la neige et le froid (ski, motoneige), l'eau (baignade, activités nautiques) ou encore la couleur automnale (randonnées) et influence les conditions de vie du gibier (chasse) ou du poisson (pêche). Il peut même influencer le nombre et la durée des séjours culturels.

Impacts appréhendés

Selon Wilton et Wirjanto (1998), une hausse de température de 1°C en été augmenterait les recettes touristiques de 4 p. 100 au Canada, alors qu'une baisse de 1°C n'aurait qu'un impact marginal en hiver. La sensibilité des activités de tourisme et de loisir par rapport aux températures est différente selon les saisons et comporte des seuils différents. De plus, d'autres phénomènes rentrent en jeu, notamment l'érosion côtière, les déficits hydriques des lacs et des rivières ou d'approvisionnement (Wall, 1998).

Selon Singh *et al.*, (2006) et Scott *et al.* (2006), l'industrie québécoise du ski devra s'adapter à des conditions climatiques plus difficiles au cours des prochaines décennies. Les régions du sud du Québec (Montréal, Estrie) verraient s'accentuer des conditions douces et pluviales durant la saison de ski, en raccourcissant la durée. Certaines périodes rentables, soit Noël, Pâques, la relâche scolaire, seraient touchées. Un réchauffement (moins de froid et de vent) aurait néanmoins pour effet d'augmenter le nombre de journées skiables et la fréquentation des pistes, surtout en janvier et février. Les coûts de fabrication de la neige artificielle, malgré le fait que les installations nécessaires soient déjà en place, risquent d'augmenter et d'avoir ainsi une incidence sur la rentabilité et la disponibilité hydrique nécessaire. Cette dernière deviendrait un enjeu critique car des prélèvements accrus, conjugués à une baisse possible des niveaux d'eau, provoqueraient ou amplifieraient des conflits d'usages (Singh *et al.*, 2006). L'importance accordée par la clientèle à la neige naturelle et à la qualité de ski qu'elle assure devrait s'avérer avantageux pour le Québec du fait de sa latitude, notamment pour les stations qui ont une clientèle venant de l'extérieur et des campagnes de publicité adaptées. La perception urbaine (pluie en métropole alors qu'il neige en région) peut également entraîner des conséquences sur la fréquentation. Une étude portant sur l'industrie ontarienne du ski prévoit, selon le modèle climatique utilisé (Scott *et al.*, 2002), une réduction de 21 p. 100 à 34 p. 100 de la couverture de neige entraînant une désaffection d'activités comme la motoneige et le ski de randonnée, la durée de la saison se trouvant écourtée jusqu'à 50 p. 100. La pêche sur glace présente une grande vulnérabilité aux hausses de température, entraînant des risques accrus pour la sécurité des pêcheurs. Enfin, des activités comme les festivals d'hiver seraient également touchées.

Pour la saison du golf, elle devrait se prolonger de deux à trois semaines (Singh *et al.*, 2006), favorisant essentiellement le début de la saison, 75 p. 100 de la fréquentation s'étalant de juillet à septembre. L'occurrence de journées défavorables devrait augmenter avec une fréquence accrue de canicules et également si une hausse des précipitations se confirme. Les besoins accrus en irrigation, dus à l'augmentation de la chaleur, deviendraient problématiques et source de conflits d'usages dans un contexte de baisse des niveaux d'eau et de réglementation accrue quant aux prélèvements, représentant le principal défi du secteur. Les variétés actuelles des gazons se détérioreraient plus rapidement pendant la saison estivale et les redoux hivernaux et les conditions climatiques futures favoriseraient les bactéries et autres agents pathogènes. La qualité de drainage des terrains de golf serait également touchée par l'intensité et la récurrence des précipitations, et l'entretien des terrains serait plus coûteux si l'augmentation de l'évapotranspiration devait résulter en un assèchement des terrains. Ces nouvelles contraintes climatiques seraient vitales pour les exploitants qui, déjà confrontés à une vive et récente concurrence, doivent également composer avec les normes environnementales reliées à l'utilisation réglementée des produits d'entretien, auxquelles il faut se conformer régulièrement (Singh *et al.*, 2006).

En ce qui a trait aux autres activités estivales, malgré le manque d'études on peut présumer d'une augmentation des activités touristiques estivales du genre randonnées, fréquentation des parcs, activités récréatives nautiques, navigation de plaisance (Jones et Scott, 2005). Plusieurs régions touristiques au climat moins froid seraient avantagées par un réchauffement des températures et le Québec serait favorisé par rapport aux régions plus au sud, améliorant son bilan touristique, malgré des paramètres socio-économiques susceptibles de limiter les revenus dédiés au tourisme et aux loisirs. Les impacts négatifs proviendraient de l'accroissement des précipitations, des canicules ou de la dégradation de la qualité de l'eau, notamment en raison de la prolifération des cyanobactéries et d'autres espèces nuisibles (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2005a). La pêche serait perturbée, les poissons étant sensibles même à de faibles variations de la température.

Stratégies d'adaptation

Face à une plus grande compétitivité des marchés, au renouvellement régulier des infrastructures et à l'augmentation des tarifs (coûts de fabrication de la neige artificielle, électricité, taxes foncières), de nombreux exploitants de stations de ski estiment que la meilleure stratégie d'adaptation consiste à mieux connaître les phénomènes climatiques futurs, pour mieux planifier leurs investissements et satisfaire une clientèle toujours plus exigeante et plus sélective. Bénéficiant des progrès techniques constants, l'industrie du ski démontre une capacité à s'adapter aux nouvelles habitudes de consommation, à la croissance de la concurrence et aux nouveaux phénomènes de société, tels que la consommation excessive et rapide, la modification du contexte familial ou encore l'accès instantané à l'information sur les prévisions climatiques, lesquelles seraient amenées à jouer un rôle de plus en plus prépondérant. Le développement de vocations différentes pour les sites représente déjà une adaptation à la variabilité climatique et ses impacts et devient une piste intéressante d'adaptation dans le cas de changements plus importants (Singh *et al.*, 2006).

Par rapport à l'industrie du golf, les stratégies d'adaptation portent surtout sur la gestion de l'eau, aussi bien en ce qui concerne les apports naturels que le drainage des terrains. La qualité des gazons, une exigence majeure des clients, devra être mieux surveillée afin d'en éviter le dépérissement accru. L'allongement de la saison

provoquerait une augmentation des revenus, si les bénéfices rejaillissaient sur d'autres services comme la restauration ou l'hébergement. Cependant, le changement climatique ne semble pas être la priorité du secteur, les coûts d'entretien des terrains étant essentiellement reliés à la main-d'œuvre et aux produits phytosanitaires (Singh *et al.*, 2006).

Quant aux autres activités estivales, l'atténuation des impacts passe, par exemple, de l'aménagement d'un couvert végétal sur les berges pour la pêche sportive à la surveillance accrue de la qualité de l'eau des sites réservés à la baignade.

En fait, le développement de toute stratégie d'adaptation impliquant une industrie demande que les acteurs du domaine d'intérêt soient bien connus, et ce afin de mieux saisir l'importance à accorder au changement climatique selon les scénarios, les seuils de tolérance des activités ainsi que les diverses possibilités d'adaptation spontanée ou planifiée (Singh *et al.*, 2006). Du côté des consommateurs ou des utilisateurs d'infrastructures touristiques, il y aurait lieu de préciser leurs réactions à différents seuils climatiques pour chacune des activités et l'attrait que celles-ci exercent l'une par rapport à l'autre dans les nouvelles conditions climatiques.

3.4.5. Transports

Le réseau routier est influencé par un climat rigoureux, l'étendue du territoire, la répartition de la population ainsi que la circulation intense des grandes agglomérations (Ministère des Transports du Québec, 2006b). Ce contexte particulier accroît la sensibilité des infrastructures (*voir* la section 3.5.3) et des activités de transport au changement climatique.

Viabilité hivernale

La conduite en hiver sur les routes du Québec représente un défi, en raison surtout des conditions difficiles et changeantes. Or, les tempêtes hivernales, bien que moins fréquentes, s'intensifieraient selon les projections (Cohen et Miller, 2001). La gestion des opérations de viabilité hivernale, qui couvre l'ensemble des mesures prises par les divers acteurs pour combattre ou s'adapter à la dégradation des conditions de circulation en hiver, deviendrait alors plus complexe. Par contre, un système d'aide aux décisions en viabilité hivernale (nommé DVH-6024), basé sur les informations obtenues des stations équipées de capteurs météorologiques et routiers, a été mis en place par le MTQ en 1999 (Tanguay et Roussel, 2000). Le développement et l'appropriation des technologies liées à la météo routière se poursuivent, notamment en ce qui concerne l'instrumentation fixe et mobile déployée à l'échelle du territoire.

Chaussée

Dans la sous-région sud, les écarts de température peuvent atteindre 25 °C en quelques heures. Pendant plus de quatre mois, le sol gèle à des profondeurs de 1,2 à 3 m, et les précipitations peuvent atteindre jusqu'à 1 000 mm par an (Ministère des Transports du Québec, 2006c). Au printemps, après avoir résisté à la déformation due au gel profond, la route doit être en mesure de supporter des charges importantes, alors que la résistance de la chaussée est réduite de 40 p. 100 (Frigon, 2003). Or, les scénarios dérivés des modèles climatiques laissent présager une augmentation de l'incidence des épisodes de redoux (Gouvernement du Québec, 2006c). Les cycles de gel-dégel et une présence accrue d'eau sur la chaussée accentuent certains phénomènes de dégradation des revêtements, ces nouvelles conditions climatiques ayant une incidence sur l'état des chaussées et, par conséquent, sur les coûts d'entretien. L'évolution rapide des méthodes et des connaissances en matière de conception de chaussées et l'apparition de nouvelles technologies et de nouveaux produits ont incité le MTQ à adapter diverses technologies à la réalité québécoise et à concevoir et à mettre au point de nouveaux équipements d'auscultation. Ces activités, réalisées en collaboration avec le milieu universitaire, font l'objet de rencontres et d'échanges techniques ainsi que de projets de recherche conjoints avec plusieurs pays, dont la France (Doré et Savard, 2006) et les États-Unis.

3.4.6. Contexte particulier à sous-région sud

Le sud du Québec est caractérisé par une activité socio-économique importante, qui apporte d'importants stress à l'environnement et complexifie inévitablement l'analyse des vulnérabilités et la prévision des impacts sur les systèmes naturels et humains en place. En fait, les facteurs de complexité sont similaires à ceux d'autres régions fortement développées et densément peuplées :

- forte densité d'une population en croissance;
- un environnement bâti en croissance desservant une économie fortement tertiaire;
- omniprésence d'institutions aux importantes capacités d'investissement et de règlementation;
- évolution des perceptions d'une population aux activités de moins en moins directement liées aux conditions climatiques et empreinte de choix historiques dans l'aménagement du territoire;
- pressions liées à l'urbanisation sur des bassin versants autrefois largement agricoles et forestiers.

Cette dynamique est également influencée par les enjeux socio-économiques mondiaux susceptibles, tout comme les impacts climatiques qui y seront associés, de se répercuter sur la sous-région sud (*voir* le chapitre 9). Dans ce contexte, et comme l'illustrent les sections 3.4.1 à 3.4.5, on constate que les travaux disponibles sont essentiellement sectoriels, sauf en ce qui a trait à la gestion de l'eau dans lequel cas des études commencent à quantifier et intégrer les impacts de différents usagers sur les règles de gestion.

L'événement climatique illustrant le mieux les vulnérabilités liées à une forte interdépendance des infrastructures demeure la tempête de verglas de janvier 1998. Ainsi, les effets de la tempête se produisant simultanément sur plusieurs secteurs ont généré une cascade complexe d'impacts qui, une fois cumulés, ont mené à un dysfonctionnement des activités socio-économiques et des répercussions évaluées à plusieurs milliards de dollars (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 1999). Or, sachant que toute infrastructure ou choix de société est un compromis socio-économique jugé acceptable entre un coût et une efficacité désirée, le changement climatique pourra avoir une incidence sur ce ratio. Les événements extrêmes vécus ou prévus pourront donc contribuer à revoir ces compromis autrefois jugés acceptables. Cependant, bien que des études climatiques quantitatives sur les

liens entre les changements et les extrêmes climatiques commencent à émerger (Tebaldi *et al.*, 2006), elles permettent rarement d'évaluer les impacts à l'échelle d'une infrastructure, d'un édifice ou d'une collectivité. Mailhot *et al.* (2007) a abordé ce genre d'évaluation requise pour la sous-région sud et a constaté qu'une hausse des précipitations abondantes, telle que simulée par l'une des versions du MRCC, toucherait le milieu urbain, provoquant une surcharge pour les infrastructures municipales ainsi que des crues subites sur les bassins versants ruraux. Divers outils (Secretan *et al.*, 2006), politiques (Gouvernement du Québec, 2006c) et aménagements du territoire (Mailhot *et al.*, 2007) contribueraient à diminuer la vulnérabilité.

Il existe peu de connaissances sur les liens qui existent entre le climat régional et la géologie de la sous-région sud. Pourtant, la majeure partie du Québec habité où se produit, de surcroît, un important étalement urbain, se trouve sur des sols argileux propices aux glissements de terrain (*voir* l'étude de cas 4) et toute hausse du nombre des glissements aurait des conséquences importantes sur la sécurité des personnes et des biens. Tel que mentionné au chapitre 2, le manque de connaissances au sujet d'un problème potentiel peut avoir une forte incidence sur la capacité d'adaptation d'un système.

3.5 AUTRES ENJEUX INTÉGRÉS À L'ÉCHELLE DE LA PROVINCE

Après une présentation d'enjeux clés pour les quatre sous-régions, la présente section vise à aborder d'autres sensibilités et impacts à l'échelle de la province. Sans pouvoir être une synthèse exhaustive en raison de l'ampleur potentielle de la problématique et de la quantité limitée de documentation sur le sujet, l'objectif est d'obtenir une meilleure vue d'ensemble tout en examinant certains enjeux spécifiques non abordés précédemment. Un regroupement autour des trois éléments clés illustrés à la figure 1 est utilisé.

ÉTUDE DE CAS 4

Glissements de terrain au Québec

Au Québec, des centaines de glissements de terrain se produisent chaque année et la plupart surviennent dans des sols argileux (*voir* la figure 22) aux endroits où se produit justement une importante croissance de la population, telle que présentée à la section 2. On sait que l'infiltration de l'eau dans les sols, à la suite de la fonte nivale printanière ou lors de précipitations, est l'une des deux causes principales de déclenchement de glissements de terrain, l'autre étant l'érosion progressive des berges à cause de cours d'eau ou d'interventions humaines déstabilisantes. Or, les événements météorologiques extrêmes prennent souvent la forme de fortes quantités de pluie, causant fréquemment des crues importantes. Les nombreux glissements de terrain qui surviennent au printemps ou lors d'événements exceptionnels – comme les pluies diluviennes de juillet 1996 au Saguenay–Lac-Saint-Jean alors que plus de 1 000 glissements de terrain ont eu lieu en moins de 36 heures (Ministère des Transports du Québec, 2000) – en sont la preuve.

FIGURE 22 : Inventaire des demandes d'intervention en raison de glissements de terrain au Québec, entre 1972 et 2005. La zone en gris dénote les limites de l'invasion marine postglaciaire caractérisée par des dépôts argileux, (carte fournie par le Ministère des Transports du Québec, communication personnelle 2006).

Bien que le lien entre ces événements et le changement climatique ne semble pas évident, l'accroissement de ce phénomène touchant une sous-région où se produit généralement un étalement urbain important semblerait augmenter en fonction des événements de précipitations extrêmes. Néanmoins, le déluge du Saguenay permet de mieux comprendre le phénomène à l'aide de la cartographie de certaines régions à risque, mesure qui vient s'ajouter aux efforts historiques initiés à la suite du glissement de terrain à St-Jean Vianney en 1971 (*voir* la figure 23) dans le but de faciliter l'évaluation des vulnérabilités et de favoriser un usage plus sécuritaire du territoire.

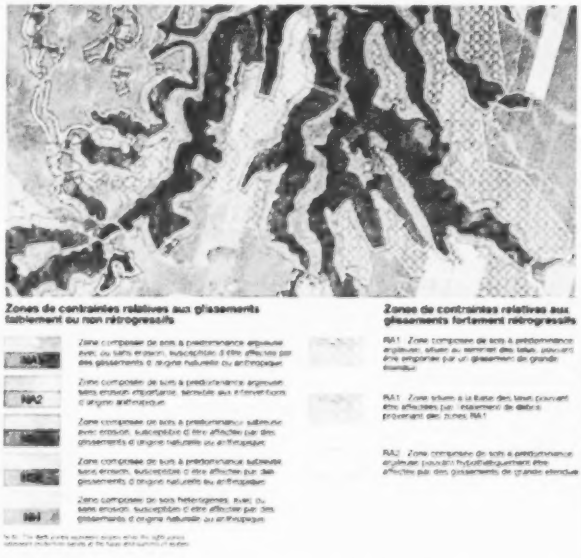


FIGURE 23 : Exemple de carte de zones de contraintes relatives aux glissements de terrain pour une localité du Saguenay–Lac-Saint-Jean (Gouvernement du Québec, 2005).

Par ailleurs, bien que valide pour l'ensemble du Québec, la présente section est particulièrement pertinente pour la sous-région sud, socio-économiquement prédominante et destinée à voir le changement climatique se conjuguer à de nombreux changements socio-économiques et environnementaux déjà en cours depuis plusieurs décennies. Les changements d'ordre climatique, les événements météorologiques, la diffusion de l'information, les négociations internationales, la perception des populations, l'économie de marché et les politiques publiques de plusieurs paliers de gouvernement vont influencer la vulnérabilité de cette sous-région et de l'ensemble du Québec.

3.5.1. Sensibilités et adaptation des populations

Le changement climatique représente un défi pour la santé humaine. Ses impacts sont soit directs, (mortalité due aux coups de chaleur), soit indirects (recrudescence d'insectes pathogènes). D'autre part, les populations montrent des degrés de vulnérabilité différents au changement climatique, ce qui complique l'instauration de mesures d'adaptation pour limiter les impacts appréhendés.

Impacts et sensibilités

Impacts du réchauffement moyen sur la mortalité

Au Québec, la hausse des températures moyennes peut entraîner une augmentation du taux annuel de mortalité (*voir* la figure 24). L'étude de Doyon *et al.* (2006) a prévu une hausse de la mortalité en été (de causes non traumatiques) de l'ordre de 2 p. 100 pour 2020 et de 10 p. 100 pour 2080, selon le scénario A2 (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a); cette hausse n'est pas entièrement compensée par une baisse de la mortalité en hiver. Ainsi, la hausse du taux annuel de mortalité serait de l'ordre de 0,5 p. 100 pour la période 2020 et de 3 p. 100 pour 2080, soit des conclusions similaires à celles présentées par Kalkstein et Green (1997) pour plusieurs villes des États-Unis; ils estimaient le nombre de décès au cours des journées chaudes trois fois plus important qu'au cours des journées froides. Cependant, Keatinge *et al.* (2000) ont prévu une diminution annuelle nette de la mortalité au Royaume-Uni en raison d'une diminution de la mortalité pendant l'hiver, ce qui ne semble pas être le cas au Québec. Toutefois, ces simulations ne considèrent ni le vieillissement de la population – phénomène qui peut augmenter substantiellement le taux de mortalité –, ni les mesures d'adaptation sur les plans physiologique et environnemental, non plus que celles reliées au logement qui, elles, peuvent le diminuer tout autant. Ainsi, au Québec, il y aura de plus en plus de gens âgés de 65 ans et plus; leur proportion est passée de 9,7 p. 100 à 12 p. 100 entre 1986 et 2001, et atteindrait environ 24 p. 100 en 2025 (Institut de la statistique du Québec, 2000). De surcroît, l'étude de Doyon *et al.* (2006) a confirmé que le groupe des 65 ans et plus est historiquement beaucoup plus vulnérable au réchauffement climatique que le groupe des 15 à 65 ans.

Les effets sanitaires directs des pluies violentes et des inondations consistent en des blessures, des problèmes cardiaques et en décès par noyade. Les effets indirects prennent la forme de maladies infectieuses, par exemple conjonctivites et dermatites, causées par les matières contaminantes présentes dans l'eau des crues et les

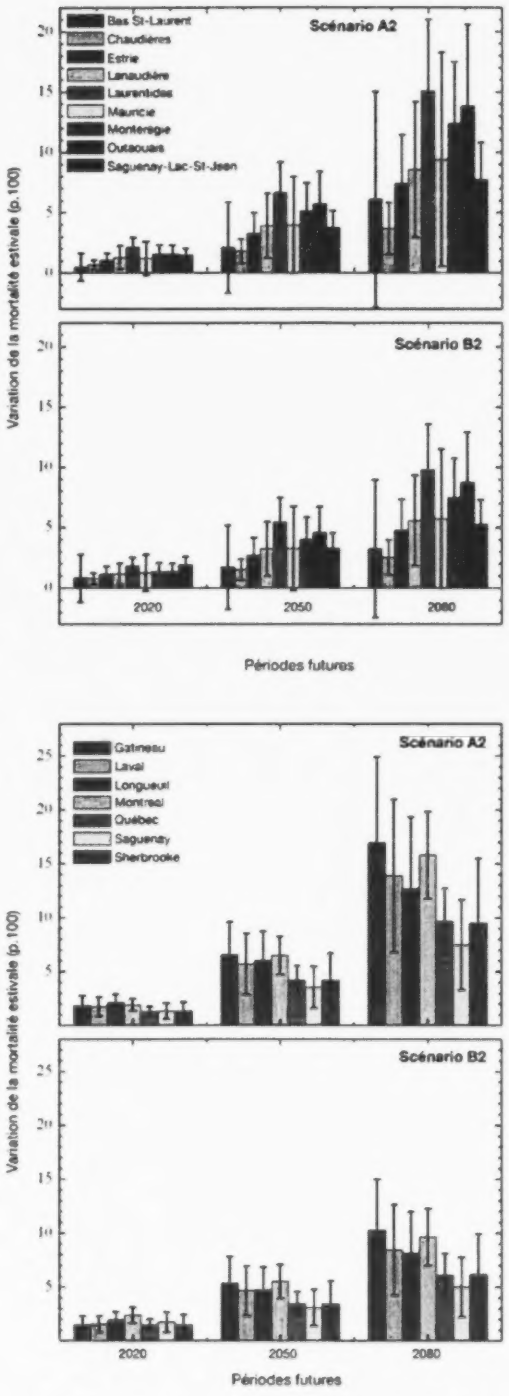


FIGURE 24 : Variation de la mortalité durant l'été au Québec (villes et régions) selon divers scénarios (Doyon *et al.*, 2006).

gastro-entérites dues à la contamination microbiologique des sources d'eau potable; des problèmes respiratoires liés aux moisissures sont aussi répertoriés. Les sinistrés et les intervenants souffriraient d'un stress post-traumatique pouvant mener à la dépression, à l'angoisse, à des troubles psychosociaux et même au suicide (Organisation mondiale de la Santé, 2005).

Les effets directs sur la santé des tempêtes hivernales se traduisent par des blessures, des engelures, de l'hypothermie et, quelquefois, par des décès, au nombre de 100 Canadiens chaque année (Institut de prévention des sinistres catastrophiques, 2005).

En 2004, la foudre a été l'agent responsable d'environ 12 p. 100 des incendies de forêts (Organisation de patrouilles de la société de protection des forêts contre le feu, 2006). En plus de leur impact économique important sur l'industrie forestière, les feux de forêts émettent dans l'atmosphère des composés chimiques, à savoir des particules, des oxydes d'azote, du monoxyde de carbone ou encore des composés organiques. Ces émissions peuvent, chez l'être humain, entrainer des problèmes d'irritation des voies respiratoires, d'aggravation des maladies chroniques et d'intoxication due à l'inhalation de fumée. Des syndromes aigus peuvent aussi survenir chez les travailleurs qui combattent les incendies et les travailleurs de la forêt longuement exposés à la fumée (Dost, 1991). Les effets indirects sur la santé de la population et des travailleurs sont le stress post-traumatique, pouvant mener au suicide (Organisation mondiale de la santé, 2005) notamment dans le cas d'une perte économique importante (p.ex., incendie de la résidence ou de l'usine avec perte d'emplois). Les scénarios actuels en rapport avec la forêt boréale ne prévoient cependant pas de modifications notables du régime de pluviosité et des feux de forêts au Québec, mais une incertitude persiste (Ouranos, 2004).

En janvier 1998, le Québec a reçu de la pluie verglaçante pendant cinq jours consécutifs, une situation qui a laissé plus de trois millions de personnes sans électricité et qui, pour plusieurs, a duré 40 jours. Cet épisode a occasionné quelque 21 décès et 200 intoxications au monoxyde de carbone (Roy, 1998), principalement en Montérégie et sur l'île de Montréal (Tremblay *et al.*, 1998). Laplante *et al.* (2004) ont mené une étude sur 224 femmes sélectionnées, qui étaient alors enceintes ou qui le sont devenues dans les trois mois suivant cette tempête. Les facteurs de stress « objectifs » (le nombre de jours sans électricité) et les réactions « subjectives » (syndrome de stress post-traumatique) ont été évalués. Les résultats montrent un lien entre un stress prénatal important chez la mère et une mortalité périnatale élevée, des différences de développement psychomoteur chez les enfants âgés de 2 à 5,5 ans et des troubles de comportement chez ceux âgés de 4 à 5,5 ans.

Dans le nord du Québec, les tendances climatiques récentes ne semblent pas étrangères à la survenue de l'avalanche à Kangiqsualujjuaq en 1999, où neuf personnes ont été tuées et 25 blessées (Sécurité publique Canada, 2006). D'autres incidents, moins tragiques, se sont produits dans d'autres villages durant la même période. À Salluit, (détroit d'Hudson), un glissement de terrain a eu lieu en 1998 à la suite de la rupture du mollisol. À Tasiujaq (baie d'Ungava), la fonte du pergélisol a contribué à l'affaissement d'un bâtiment et la déformation de la piste de l'aéroport (Allard *et al.*, 2002b). En plus de mettre des vies en danger, ces événements causent beaucoup d'insécurité au sein de la population, qui est largement dépendante du transport aérien pour l'approvisionnement alimentaire et les évacuations médicales vers les centres hospitaliers.

Impacts des vagues de chaleur et de l'effet d'îlot thermique urbain sur la santé

Des températures plus élevées, un humidex quotidien en hausse depuis les quatre dernières décennies à Montréal et à Québec ainsi que des vagues de chaleur plus fréquentes et plus intenses représentent des risques importants pour la santé humaine (Environnement Canada, 2004a, b). À ces événements, il faut ajouter l'effet d'îlot thermique urbain (EITU), généré par les recouvrements asphaltés et les matériaux des infrastructures et bâtiments qui absorbent la chaleur et rehaussent la température de l'air ambiant de 0,5 à 5,6 °C dans les milieux urbains (Oke, 1982).

La chaleur peut provoquer de l'inconfort, allant d'une faiblesse aux troubles de la conscience, en passant par des syncopes et des coups de chaleur pouvant s'avérer mortels (Besancenot, 2004). Indirectement, la chaleur peut également aggraver des pathologies chroniques, comme le diabète, l'insuffisance respiratoire et l'insuffisance rénale. L'ensoleillement contribue aussi à la formation d'ozone troposphérique dans les milieux urbains, gaz nuisible à la santé humaine. L'ozone troposphérique peut provoquer l'irritation des yeux et des voies respiratoires, une réduction des fonctions respiratoires, une aggravation des maladies des voies respiratoires ou cardiaques et même une mort prématurée (Santé Canada, 2004).

Les populations du sud sont plus sensibles à une fréquence accrue des épisodes de chaleur accablante, tandis que celles du nord souffrent davantage d'une hausse des températures, n'y étant pas acclimatées (Santé Canada, 2005). Plusieurs études scientifiques (Commission de la santé et de la sécurité du travail, 2004; Direction de la santé publique de Montréal, 2004) ont fait mention de personnes à vulnérabilité accrue en fonction de caractéristiques environnementales (p. ex., logement, travail, accès aux lieux frais) ou personnelles (p. ex., maladies, handicaps, âge). L'étude de Bélanger *et al.* (2006) a jeté une lumière nouvelle sur la vulnérabilité de certains groupes à la chaleur. Elle a mis en relief certains facteurs connus et documentés de nouvelles associations pouvant aggraver l'impact des vagues de chaleur, notamment 1) le fait de vivre seules pour les personnes âgées; 2) la précarité économique; 3) une mobilité restreinte; 4) des problèmes neurologiques chroniques (épilepsie, sclérose en plaques); 5) le soutien social; 6) le type de logement occupé (dont certains types d'immeubles de logements); 7) l'accès à des activités récréatives lors des périodes de canicule (tels que lieux de baignade).

Le rapport entre les immeubles à logements comptant plusieurs étages et la hausse du taux de mortalité durant les épisodes de canicule a été établi par plusieurs chercheurs (Klinenberg, 2002; Dixsaut, 2005) et cette vulnérabilité a aussi été documentée dans les perceptions de la population pour l'ensemble du Québec (Bélanger *et al.*, 2006).

Une étude exploratoire réalisée dans la région de l'Estrie et traitant de l'usage de médicaments lors d'épisodes de chaleur accablante a mis en évidence l'importance des mises en garde de la part des pharmaciens (Albert *et al.*, 2006). On y fait ressortir un fort pourcentage (30,2 p. 100) de personnes âgées de 65 ans et plus prenant des médicaments dont l'effet peut être compromis par la

déshydratation, ou qui peuvent empêcher la perte calorique ou qui peuvent empêcher la fonction rénale. Près de 5 p. 100 des personnes âgées avaient trois ordonnances ou plus de médicaments de ce type qui devaient être pris simultanément.

Effets de la pollution atmosphérique sur la santé

L'Organisation mondiale de la santé a émis l'hypothèse qu'un climat plus chaud et plus humide augmente la concentration atmosphérique de certains pollens suscitant, par le fait même, une recrudescence des affections allergiques, telles que la rhinite allergique et l'asthme (McMichael *et al.*, 2003). La rhinite allergique représente un sérieux problème de santé publique dans les pays industrialisés, altérant la qualité de vie des populations touchées et causant absentéisme et perte de productivité au travail. Les coûts reliés à l'hospitalisation, aux médicaments et aux consultations médicales sont également importants (Breton *et al.*, 2006; Garneau *et al.*, 2006). Pour les régions de Québec et de Montréal, on a documenté, entre 1994 et 2002, une hausse à la fois des concentrations polliniques et de la fréquence des consultations médicales pour cause de rhinite. La rhinite allergique due au pollen et à d'autres substances allergènes, ou résultant d'une cause non précisée, se classe au 5e rang (9,4 p. 100) des problèmes de santé déclarés (Institut de la statistique du Québec, 2000). Cette prévalence semble avoir augmenté de 6 p. 100 depuis 1987 (Garneau *et al.*, 2006), mais plusieurs facteurs externes peuvent aussi y avoir contribué autre que le climat.

Selon Garneau *et al.* (2006), la rhinite allergique touche surtout les personnes âgées de 15 à 24 ans (14,6 p. 100 de la population québécoise) et celles âgées de 25 à 44 ans (13,6 p. 100). Les consultations médicales pour la période de 1994 à 2002 sont plus fréquentes chez les femmes que chez les hommes. Cependant, pour les groupes d'âge de 0 à 14 ans, elles sont plus élevées chez les hommes. Ces résultats correspondent à ceux obtenus par les études de Banken et Comtois (1990) ainsi que de Goulet *et al.* (1996), qui ont rapporté une incidence maximale de rhinite allergique chez les personnes âgées de 0 à 24 ans.

Une grande part des émissions de CO_2 est reliée à l'utilisation des sources d'énergie fossiles, qui sont aussi associées aux émissions des précurseurs de l'ozone troposphérique et des particules fines. Les projections pour le changement climatique incluent une augmentation des extrêmes de température, qui se manifesteraient, entre autres, par une hausse de la fréquence et de la durée des périodes de canicule et de smog (House et Brovkin, 2005; Organisation mondiale de la santé, 2005). Des simulations sont en cours à Environnement Canada et à Santé Canada pour quantifier cet effet dans le cadre de scénarios futurs. Le Québec présente des niveaux d'ozone de basse altitude en hausse constante depuis 15 ans sur une base moyenne saisonnière (Environnement Canada, 2005), quoique le nombre d'épisodes aigus varie beaucoup d'une année à l'autre. En outre, l'augmentation des gaz à effet de serre ayant été de 6 p. 100 de 2001 à 2003 (Institut national de santé publique du Québec, 2006), on conclut que ce risque, lié aux polluants associés, demeure important et en croissance pour la majeure partie de la sous-région sud, et ce, à des degrés variables.

Effets du changement climatique sur la quantité et la qualité des ressources hydriques

Dans la sous-région sud, les effets projetés du changement climatique sont une baisse des niveaux et des débits des cours d'eau, une modification du régime pluviométrique (*voir* la section 3.4.3) et une hausse du taux de salinité des eaux du Saint-Laurent (Bourgault, 2001). Il s'agit d'une projection inquiétante, car plus de 70 p. 100 de la population tire son eau potable des eaux de surface (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2004a). Les risques de contamination microbienne, chimique et par biotoxines naturelles sont également plus élevés. De plus, les pénuries d'eau, dues à la diminution de la capacité des aqueducs, représentent un risque accru en cas d'incendie, accompagné de blessures, décès et incidences psychologiques importantes pour les familles qui assistent à la destruction de leurs biens personnels (Enright, 2001).

Des maladies d'origine hydrique pourraient se manifester si des micro-organismes pathogènes migraient vers les sources d'eau souterraine ou de surface utilisées comme sources d'approvisionnement (Conseil canadien des ministres de l'Environnement, 2005a, b). Le phosphore, l'ensoleillement et la température sont les principaux facteurs responsables de la prolifération d'algues ou fleurs d'eau de cyanobactéries (Agence de développement de réseaux locaux de services de santé et de services sociaux, 2003). Au Québec, ce phénomène a déjà touché quelque 84 lacs et cours d'eau entre 1999 et 2003 (Institut national de santé publique du Québec, 2006) et a mené à des interdictions de consommer l'eau et de se baigner, sans provoquer toutefois de maladies humaines rapportées à ce jour. Les cyanotoxines, produites par les cyanobactéries, peuvent causer une irritation de la peau, des dommages hépatiques ou nerveux sérieux, tant par contact cutané que par ingestion d'eau (American Water Works Association, 1999; Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2003;). Les jeunes enfants, les personnes âgées et les malades chroniques risquent davantage de présenter des symptômes sévères résultant de la contamination de l'eau. Les amateurs d'activités aquatiques sont particulièrement vulnérables à la contamination par biotoxines naturelles (Agence de développement de réseaux locaux de services de santé et de services sociaux, 2003; Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2005b). La population en général serait touchée par des pénuries d'eau sur les plans physique et psychologique; les familles déjà en situation précaire vivraient davantage d'insécurité sur le plan alimentaire, en ayant à acheter leur eau (Direction de la santé publique de la Montérégie, 2004).

Les maladies d'origine hydrique (transmises par protozoaires, bactéries ou virus) sont omniprésentes au Nunavik et, de 1990 à 2002, on y a recensé un nombre proportionnellement plus élevé qu'ailleurs au Québec de certaines de ces maladies (p. ex., giardiase, salmonellose), alors que le nombre d'autres types de maladies infectieuses y est moins élevé (Furgal *et al.*, 2002). Le changement climatique peut avoir une incidence sur l'approvisionnement en eau, aussi bien les systèmes individuels que collectifs, causer la dégradation du pergélisol et contribuer à l'infiltration d'eau salée dans les aquifères, c'est-à-dire aggraver une situation déjà préoccupante. Pour plusieurs villages, l'enfouissement des déchets dans le pergélisol en dégel polluerait les nappes phréatiques, les cours d'eau et les terrains avoisinants (Furgal et Seguin, 2005). Au Nunavik, une personne sur cinq est âgée de moins de cinq ans; il s'agit-là d'un groupe à risque pour les maladies gastro-entériques en raison de la fragilité du système immunitaire des enfants (Martin *et al.*, 2005b). Les changements pressentis mettent en évidence l'urgence d'améliorer les systèmes de monitorage environnemental et de surveillance sanitaire pour détecter et traiter rapidement les problèmes de santé reliés à la qualité de l'eau (Owens *et al.*, 2006).

Par rapport à ce sujet, un projet pilote est présentement en cours dans la baie d'Ungava dans le cadre du réseau de centres d'excellence ArcticNet (Gosselin, 2006).

En 2004, QANUIPPITAA, l'enquête de santé du Nunavik menée auprès des Inuits de tous les villages de la sous-région (Régie régionale de la santé et des services sociaux Nunavik, 2004), a donné le coup d'envoi à la préparation de nouvelles stratégies. Lors du passage de l'Amundsen, brise-glace en mission scientifique, 232 résidences et 19 sites d'approvisionnement en eau brute ont fait l'objet de visites dans le cadre d'un projet ArcticNet (Martin et al., 2005c) associé à l'enquête de santé. Cette étude a permis à la fois de connaître les habitudes de consommation en eau potable des résidents et de tracer un portrait global de la teneur en bactéries de l'eau consommée. Elle servira à élaborer d'importantes bases de données dans les domaines environnemental et sanitaire pour la sous-région nord, qui serviront à assurer un suivi en fonction du climat.

Une enquête similaire a été menée auprès de la population crie de Mistissini (Nituuchischaayihtitaau Aschii, 2005). Elle permettra de constituer une base de données intéressante sur l'évolution de la qualité de l'eau au cours des sept prochaines années dans les collectivités amérindiennes de la sous-région nord.

Impacts du changement climatique sur l'émergence et l'intensification des maladies zoonotiques et à transmission vectorielle

Le changement climatique modifierait l'aire de distribution des parasites et des maladies transmises par des animaux, des insectes et des tiques, entraînant une hausse des maladies infectieuses existantes ou même l'apparition de nouvelles maladies infectieuses au Québec.

Au nombre des maladies zoonotiques, on compte le syndrome pulmonaire de hantavirus (SPH), un virus qui peut infecter certains rongeurs. Un climat plus chaud pourrait entraîner la propagation des rongeurs dans de nouvelles régions. Plusieurs rongeurs indigènes peuvent servir de vecteurs de cette maladie; un premier cas a été rapporté au Québec en 2005 (Direction de la santé publique, 2005). La rage est une autre maladie transmissible à l'être humain par des morsures ou des griffures d'animaux infectés. Le changement climatique pourrait occasionner des modifications de l'habitat, de la durée d'hibernation et des conditions de reproduction des animaux-réservoirs, et avoir ainsi pour effet de propager cette maladie dans le nord du Québec (Institut de recherche forestière de l'Ontario, 2003).

Au Québec, il existe actuellement peu d'espèces de moustiques vecteurs de maladies virales transmissibles à l'humain. Toutefois, quelques espèces présentes dans la sous-région sud sont des vecteurs du virus du Nil, de l'encéphalite de Saint-Louis, de l'encéphalite de La Crosse et de l'encéphalite équine de l'Est (Institut de santé publique du Québec, 2003a, b). Des hivers plus doux et des étés plus longs pourraient prolonger la durée de vie de ces moustiques, ainsi que la saison de la transmission du virus responsable de l'encéphalite de Saint-Louis, originaire des États-Unis, qui pourrait alors s'étendre au Québec. L'encéphalite de La Crosse, pour sa part, existe de façon endémique aux États-Unis et la variété Snowshoe Hare (lièvre) de ce virus est présente au Québec. Le virus de l'encéphalite équine de l'Est a déjà été identifié au Québec, mais aucun cas n'a été rapporté jusqu'à présent (Institut de santé publique du Québec, 2005a, b); il risque, par contre, d'être réintroduit chaque année par les oiseaux migrateurs (Institut de recherche forestière de l'Ontario, 2003).

La maladie de Lyme est une zoonose émergente au Canada. Sa bactérie peut être transmise aux êtres humains par la morsure de tiques infectées. Selon les chercheurs de l'Université de Montréal, les tiques favorisant la propagation de cette maladie séviraient d'ici 10 à 20 ans dans plusieurs des régions de l'est du Canada, dont le Québec, à mesure que le climat se réchauffe (N. Ogden, Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal, communication personnelle, 2005).

Plusieurs zoonoses existent déjà chez les espèces animales arctiques, notamment la tularémie chez les lièvres, les rats musqués et les castors; la rage chez les renards (Dietrich, 1981); la brucellose chez les ongulés, les renards et les ours; et l'échinocoque chez les espèces canines (Chin, 2000). Les Inuits présentent des niveaux élevés de plusieurs zoonoses parasitaires, notamment la toxoplasmose (Tanner *et al.*, 1987) et le changement climatique est susceptible d'accroître l'incidence de la transmission, soit par ingestion de chair, ou par contamination hydrique. Déjà, de 21 p. 100 à 56 p. 100 des foyers inuits rapportent une certaine insécurité sur le plan alimentaire (Statistique Canada, 2001). L'enquête *QANUIPPITAA* permettra une mise à jour de ces données au début de 2008.

Quelques autres effets sur la sous-région nord

Depuis des millénaires, les Inuits pratiquent la chasse et la pêche de subsistance. Bien qu'ils aient accès à de la nourriture importée du sud, ils continuent de s'alimenter de façon traditionnelle et en retirent des effets sur la santé beaucoup plus bénéfiques que ne leur procurent les produits importés (Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec et Institut national de santé publique du Québec, 2004). Par contre, si les animaux étaient affectés par des maladies, des parasites, un plus grand nombre d'insectes piqueurs, des famines ou des modifications et des pertes d'habitats, les Inuits seraient exposés à un double changement car leurs ressources pourraient être transformées ou déplacées et ceci pourrait avoir une incidence sur la qualité de celles-ci. L'apport en protéines animales à haute valeur nutritive serait réduit, situation d'autant plus inquiétante que la croissance démographique et le maintien de leurs habiletés pour la chasse et la pêche vont en diminuant (Furgal *et al.*, 2002). Cette évolution est préoccupante pour les responsables de la santé publique, car le remplacement des produits traditionnels par des produits importés, plus riches en sucres et en glucides, aurait pour effet d'engendrer des problèmes cardiovasculaires, de diabète, de déficiences vitaminiques, d'anémie, de santé dentaire et d'obésité, ainsi qu'une résistance moindre aux infections. Les Inuits présentent déjà des taux de mortalité ou de morbidité beaucoup plus élevés qu'ailleurs au Québec, pour la plupart en rapport avec l'alimentation (Institut national de santé publique du Québec, 2006), et une espérance de vie réduite, due en bonne partie aux décès par traumatismes, aux cancers et, dans une moindre mesure, aux maladies cardiovasculaires.

Les impacts directs et indirects des conditions climatiques sur l'environnement naturel et bâti augmenteraient probablement les risques pour la santé, la sécurité et le bien-être de ces populations isolées. À titre d'exemple, la hausse importante de la quantité et de

l'intensité des précipitations causerait davantage de glissements de terrain ou d'avalanches. Par ailleurs, à la suite des neuf décès et 25 blessés causés par l'avalanche de Kangiqsualujjuaq survenue en 1999, une évaluation poussée des risques a été effectuée dans tous les villages, et les infrastructures essentielles ont été déplacées, notamment les centrales diesels et les réservoirs de carburant (Schweizer et Jamieson, 2003).

Stratégies d'adaptation

Mortalité et morbidité

Les modélisations de la relation entre la mortalité et la température moyenne réalisées pour la plupart des régions du Québec (Doyon *et al.*, 2006) seraient complètes si les liens entre la morbidité et le climat étaient quantifiés et si les variations des taux d'hospitalisation ou de consultation à l'urgence étaient examinées. Des seuils d'intervention spécifiques à des régions et à des villes seraient établis, puis modifiés de temps à autres selon l'évolution de la température ainsi que des décès et des maladies. Ces travaux sont prévus dans le cadre d'un programme d'Ouranos et, d'ailleurs, certaines villes commencent à s'adapter (Kosatsky *et al.*, 2005a, b).

Événements climatiques extrêmes

Le Québec dispose de bons mécanismes de réaction aux cas d'urgence, et la plupart des initiatives actuelles d'adaptation consistent en des activités de surveillance et de monitorage, de formation et d'éducation ainsi qu'en des modifications de lois et de politiques. Pour ce qui est de la surveillance et du monitorage, il semble toutefois nécessaire, selon divers observateurs (Giguère et Gosselin, 2006a), d'étendre et de renforcer le rôle des systèmes d'information géographique (SIG) et des nouvelles technologies dans la gestion des risques d'inondation. Différents ministères du Québec (Sécurité publique, Santé et Services sociaux), Sécurité publique Canada et des organismes comme la Croix-Rouge mettent à la disposition du public des guides de mesures à prendre au moment d'événements extrêmes de différente nature. La création d'Ouranos, et de son volet santé (en collaboration avec Santé Canada, le Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec et l'Institut national de santé publique du Québec), s'inscrit dans la stratégie du Québec sur l'adaptation au changement climatique (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 2003a, b; Institut national de santé publique du Québec, 2005a, b). La gestion par bassins versants, actuellement en voie de réalisation, permettra d'assurer une approche écosystémique de la gestion de l'eau incluant les acteurs de santé publique (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2004a).

D'autre part, il serait souhaitable d'élaborer et d'encourager de nombreuses autres initiatives d'adaptation aux événements climatiques extrêmes (Giguère et Gosselin, 2006a), notamment :

- la valorisation de la planification préventive reliée aux événements climatiques extrêmes;
- la modélisation et la communication des risques sur les différents types d'événements climatiques extrêmes, à court, moyen et long terme, en vue de développer des initiatives adéquates;
- la recherche en matière d'impacts des événements climatiques extrêmes sur la santé à court et long terme, ainsi que le perfectionnement des mesures en cas d'urgence dans le domaine sanitaire.

Le ministère de la Santé et des Services sociaux (Gouvernement du Québec, 2006a) a annoncé son intention de mettre sur pied d'ici 2011 un système de surveillance et de suivi épidémiologique des conséquences des événements climatiques extrêmes.

Pollution atmosphérique

Selon Garneau *et al.* (2006), il faudrait établir des seuils polliniques critiques et émettre des avis de protection lorsque ces seuils seraient dépassés. Il faudrait aussi continuer d'appliquer les méthodes de contrôle de l'*Ambrosia* spp., pollen auquel est associé le plus grand pourcentage de symptômes allergiques, et amener les principaux acteurs à renforcer leurs interventions. Une Table québécoise sur l'herbe à poux existe d'ailleurs à cet effet depuis 1999 pour soutenir les actions sur le terrain des partenaires municipaux, privés et non-gouvernementaux en vue de contrôler ce risque (Agence de la santé et des services sociaux de la Montérégie, 2007). Divers avis de santé publique visant à réduire l'étalement urbain et la circulation automobile ont été émis ces dernières années (Direction de la santé publique de Québec, 2004; King et al., 2005), mais sans effet mesurable jusqu'à ce jour. Le programme Info-smog est maintenant disponible pour tout le Québec méridional, et ce, à longueur d'année (Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, 2006b), mais son impact sur les comportements semble négligeable jusqu'ici (Bélanger *et al.*, 2006, Tardif *et al.*, 2006).

Les stratégies d'adaptation relatives à la préservation de la qualité de l'air portent généralement sur la promotion d'achat de petits véhicules peu énergivores, de déplacements à bicyclette ou à pied, ou encore sur la promotion des transports en commun, dont le gouvernement du Québec (2006b) encourage une hausse annuelle de 8 p. 100 d'ici à 2012.

Quantité et qualité des ressources hydriques

Dans le contexte du changement climatique, plusieurs initiatives majeures d'adaptation associées à la quantité et à la qualité des ressources hydriques du Québec sont déjà instaurées, ou sont en voie de l'être d'ici à 2007 (Giguère et Gosselin, 2006c). Ainsi, des programmes de suivi de la qualité de l'eau de surface permettent de bénéficier d'activités aquatiques sécuritaires, mais sur une partie seulement des sites. Le Règlement sur la qualité de l'eau potable oblige le personnel superviseur ou contrôleur de la qualité de l'eau potable et responsable de l'entretien des infrastructures de traitement de l'eau à suivre une formation adéquate. Des programmes de recherche et de développement sur les méthodes de traitement de l'eau potable sont en cours depuis déjà quelques années dans plusieurs universités québécoises. La nouvelle réglementation québécoise (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2005b) sur la qualité de l'eau prescrit une surveillance rigoureuse, dont les normes sont parmi les plus élevées en Amérique du Nord. Toutefois, elle ne prévoit aucune norme s'appliquant aux cyanotoxines, toxiques pour l'humain, et dont la prolifération risque de s'accroître dans un contexte de réchauffement climatique. Des recherches sur les liens entre le climat, la santé et la qualité de l'eau sont aussi en cours. Selon Charron *et al.* (2005), les maladies d'origine hydrique et alimentaire représentent sans doute le plus important problème sanitaire de la planète. Le centre de prévention et de contrôle des

maladies infectieuses de l'Agence de santé publique du Canada, en collaboration avec l'Institut de santé publique du Québec, mène présentement une étude sur les attributs reliés à la santé, notamment les écosystèmes, la population, les collectivités et les individus, afin de définir la vulnérabilité des Canadiens aux maladies d'origine hydrique et alimentaire découlant du changement climatique, y compris dans le milieu rural du Québec. Une amélioration des moyens de détection des épidémies et des maladies infectieuses en fonction de variables climatiques est prévue dans le Plan d'action 2006-2012 du gouvernement du Québec (2006a).

Zoonoses et maladies à transmission vectorielle

Au Québec, les zoonoses et les maladies à transmission vectorielle semblent être le secteur où l'on prend le plus d'initiatives d'adaptation au changement climatique, quoique les risques semblent peu élevés en comparaison avec d'autres secteurs socio-économiques. L'Institut national de santé publique du Québec coordonne les activités en matière de détection précoce, de surveillance en temps réel (*voir* la figure 25) et de recherche sur le virus du Nil occidental (Bouden et al., 2005; Gosselin et al., 2005; Institut national de santé publique du Québec, 2005a, b). Quant au gouvernement du Québec, il met à la disposition du public des documents d'information sur les maladies zoonotiques et à transmission vectorielle ainsi que sur les façons de s'en protéger. Le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 2006) a, pour sa part, investi d'importantes sommes dans la recherche en vue de mieux surveiller et de contrer les maladies zoonotiques.

De plus, certains experts (Giguère et Gosselin, 2006b) ont proposé d'élaborer et de mettre en œuvre des initiatives, comme l'intégration d'indicateurs d'impacts du changement climatique à la surveillance des maladies zoonotiques et à transmission vectorielle et l'intensification des recherches sur les moyens de contrôle de ces maladies.

Vagues de chaleur et effet d'îlot thermique urbain

En 2006, tel qu'exigé par le ministère de la Santé et des Services sociaux, sept régions sur huit possédaient un plan d'intervention d'urgence en cas de vague de chaleur (Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, 2006a). Ces plans d'urgence, impliquant le déclenchement d'alertes et la mobilisation, sont basés sur un seuil fixé à partir d'une analyse des données sanitaires et météorologiques des 20 dernières années et plusieurs comprennent une surveillance des décès en situation d'alerte. La Direction de la santé publique de Montréal a développé une bonne expertise dans ce domaine depuis 2004, mais aucun test des plans d'urgence n'a encore été effectué en situation réelle de canicule prolongée, bien qu'un exercice de simulation ait été réalisé pour l'île de Montréal (Santé Canada, 2005), apportant certaines améliorations aux plans d'urgence. D'autres exercices de simulation ont également permis de déceler plusieurs déficiences (Santé Canada, 2004). D'autres initiatives portant sur les risques de la chaleur accablante ont été mises en œuvre pour informer la population et les groupes plus vulnérables (Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, 2006c), soit les personnes âgées et leur entourage ainsi que certains groupes de travailleurs. Une démarche similaire a été entreprise auprès d'établissements, d'organismes (p. ex., Commission de la santé et de la sécurité au travail, Réseau public québécois de la santé au travail) et d'organisations de santé (p. ex., cliniques médicales, pharmacies, Association des locataires des habitations à loyer modique). Des initiatives visant les travailleurs ont été élaborées, notamment dans la région Chaudière-Appalaches, portant surtout sur la diffusion d'informations. Par ailleurs, des projets de recherche concernant les vagues de chaleur et les effets d'îlot thermique urbain (EITU) sont présentement planifiés ou ont été entrepris par Ouranos (2006).

FIGURE 25 : Exemple de carte thématique provenant du système de surveillance en temps réel de l'Institut national de santé publique du Québec (Système intégré des données de vigie sanitaire-Virus du Nil occidental ou SIDVS-VNO. Elle présente divers traitements préventifs d'insecticides (zones foncées) contre les larves des moustiques vecteurs du virus du Nil occidental sur la rive sud de Montréal, en 2003 (*voir* Gosselin *et al.*, 2005).

Selon Bélanger *et al.* (2006), les stratégies d'adaptation liées aux vagues de chaleur devraient s'articuler autour des activités suivantes : surveillance, recherche, diffusion d'informations et programmes d'aide. Pour ce qui est de la recherche, il s'agirait surtout de déterminer les services dont les personnes vulnérables ont besoin pour assurer leur sécurité durant ces épisodes de chaleur. Les principaux résultats devraient être communiqués à des organismes communautaires et à des intervenants de première ligne rattachés à la sécurité civile.

L'étude de Vescovi *et al.* (2005) a permis de cartographier des zones qui présentent un risque relié au réchauffement climatique, et un projet d'atlas Internet traitant certaines vulnérabilités de santé publique est en voie de réalisation à l'échelle du Québec (Gosselin, 2005) et couvre de façon plus précise l'île de Montréal (Kosatsky *et al.*, 2005b).

Pour lutter contre l'EITU, la plantation d'arbres, l'usage de toits verts ou construits avec des matériaux à albédo élevé, de même que l'utilisation et la disponibilité du transport collectif dans certaines

régions font l'objet d'un intérêt grandissant (Ducas, 2004; Ville de Montréal, 2005). Certaines directions régionales de santé publique commencent à promouvoir de telles approches en milieu urbain.

Cependant, certaines initiatives supplémentaires pourraient être mises en œuvre (Giguère et Gosselin, 2006d), comme :

- la formation des professionnels de la santé;
- la mise sur pied de projets pilotes visant l'éducation populaire pour la protection personnelle en cas de vague de chaleur et la contribution à la lutte contre l'EITU ;
- l'ajout de mesures économiques incitatives favorisant les initiatives pour atténuer le phénomène de chaleur accablante.

Le Plan d'action 2006-2012 du gouvernement du Québec (2006a) prévoit la promotion d'îlots de fraîcheur et la formation du personnel aux pratiques adaptées au changement climatique au cours des prochaines années, sous la supervision du Ministère de la Santé et des Services sociaux.

Rayons ultraviolets (UV)

Au Québec, le changement climatique allongerait la saison chaude, incitant la population à vivre davantage à l'extérieur et s'exposant ainsi davantage aux rayons UV (Hill et al., 1992; Diffey, 2004), effet quantitativement plus important que celui qui découle de l'amincissement de la couche d'ozone. Les conséquences sanitaires d'une surexposition aux UV s'accroîtraient, notamment les cancers épidermiques, les cataractes, l'effet immunosuppresseur amoindrissant l'efficacité des vaccins, le développement d'épidémies (Organisation mondiale de la santé, 2003). Pourtant, à l'échelle québécoise, contrairement à l'échelle canadienne, la protection contre les rayons UV n'est pas encore bien prise en considération (Warren et al., 2004), et ce malgré les 80 000 nouveaux cas de cancers de la peau annuels diagnostiqués au Canada, forme de cancer la plus fréquente au pays (Institut national du cancer du Canada, 2005). Cependant, on peut avoir recours à l'indice UV émis par Environnement Canada, largement accessible à la population, ainsi qu'au Comité national de protection solaire (Stratégie canadienne de lutte contre le cancer, 2001). L'adaptation, aussi bien au niveau de la sensibilisation que de l'évolution des comportements, semble pourtant rentable; en Australie, par exemple, la prévention contre l'effet des rayons UV coûte en moyenne 0,08 $ US par personne, alors que les coûts du traitement du cancer s'élèvent à 5,70 $ US par personne (Organisation mondiale de la santé, 2003). L'effet du changement climatique sur ce thème reste encore à découvrir (Institut de recherche en santé du Canada, 2002), mais des mesures préventives visant à créer de l'ombre pour se protéger du soleil s'avéreraient utiles (Gouvernement du Québec, 2006a).

3.5.2. Sensibilités et adaptation des activités socio-économiques

La sensibilité de l'économie du Québec au changement climatique montre des différences importantes au niveau de la quantification des impacts, du degré de certitude associé et de difficulté à en préciser la valeur monétaire. On peut regrouper les impacts sur l'économie en plusieurs catégories :

- La première regroupe les impacts sur l'environnement bâti : il peut s'agir de perte d'infrastructures ou de bâtiments, de travaux d'entretien, de protection accrue, de déplacement, de reconstruction ou encore de réaménagement. À cet égard, la région arctique et la façade maritime sont particulièrement vulnérables (fonte du pergélisol, érosion côtière, modification du régime de précipitations).
- La deuxième catégorie rassemble les impacts sur les activités économiques, dont la productivité ou la demande et les prix seraient modifiés. La vulnérabilité économique à long terme est fonction de l'importance des secteurs touchés, aussi bien positivement que négativement, par les changements de température et de précipitation. Compte tenu de l'importance des ressources naturelles dans son économie (*voir* la figure 26), le Québec est plus vulnérable que certaines autres régions développées du monde dont l'économie est moins liée au climat. En effet, les industries forestières, l'agriculture, la chasse et la pêche, représentent 2 p. 100 de son économie (3,8 milliards de dollars) et la production hydroélectrique, tributaire des précipitations, représentait 7,8 milliards de dollars en 2001. Les industries de transformation, soit l'agroalimentaire, le bois d'œuvre, les pâtes et papiers et la transformation des métaux, seraient touchées quant à la disponibilité et aux coûts des approvisionnements. Outre les industries basées sur les ressources naturelles, plusieurs industries de service seraient vraisemblablement touchées tel le tourisme (restauration et hébergement, soit 4 milliards de dollars et de nombreux emplois) qui pourrait être avantagé ou désavantagé selon son adaptation aux conditions changeantes. De même, les services de santé et sanitaires auraient des besoins accrus face aux nouveaux risques. D'autres secteurs, comme ceux des transports routiers et maritimes et des

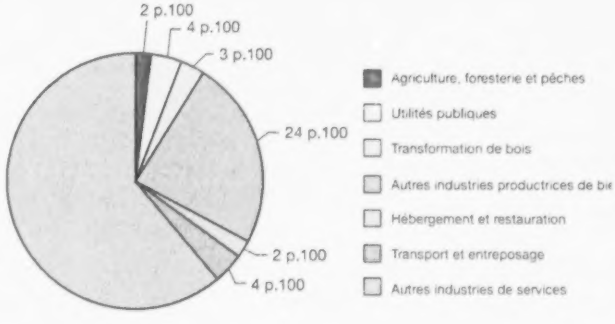


FIGURE 26 : Répartition du PIB du Québec en fonction des types de secteurs économiques touchés par le climat (Ministère des Transports du Québec, 2006c).

services financiers et des assurances, devraient s'ajuster, notamment face aux incertitudes accrues et aux coûts supérieurs d'indemnisation. En somme, une partie importante de l'économie québécoise serait directement ou indirectement touchée.

- La troisième catégorie regroupe les impacts, tant de la modification des valeurs moyennes du climat que de celles des extrêmes sur la sécurité, la santé et le bien-être des populations, ainsi que sur les écosystèmes. Il est difficile, par contre, de quantifier la valeur réelle de ces variables autrement qu'avec des mesures indirectes, malgré leur rôle majeur dans l'économie.
- Enfin, les événements climatiques extrêmes, notamment les inondations, le verglas, les tornades et les vagues de chaleur, représentent un ensemble d'impacts sur l'économie qu'il est utile de regrouper car ils diffèrent par leur durée et leur ampleur. Ils auraient une incidence sur la sécurité des populations, l'intégrité des écosystèmes naturels, le déroulement des activités économiques et sur de nombreux bâtiments et infrastructures, entraînant des coûts élevés de l'ordre de milliards de dollars, mais de courte durée.

La sous-région sud a une économie diversifiée où les activités manufacturières et tertiaires occupent une large part de la production du travail et de l'emploi. Les régions ressources et rurales sont beaucoup plus dépendantes d'une ou de deux activités seulement, comme l'exploitation forestière, le tourisme, la chasse et la pêche ou l'agriculture. La distribution des impacts du changement climatique sur le territoire du Québec ne serait pas uniforme, et la survie même de certaines collectivités reposerait sur leur capacité de s'adapter avec efficacité au nouveau contexte climatique. En fait, le changement climatique ne représente qu'un aspect d'un monde en évolution constante. Le Québec devrait en effet connaître une croissance économique soutenue, l'amenant à doubler sa production sur une période de 50 ans selon une extrapolation des tendances actuelles, et des changements commerciaux et technologiques agiront également sur cette évolution, rendant la prévision des impacts du changement climatique difficile (Ministère des Finances du Québec, 2005).

Quant au domaine peu étudié des aspects sociaux, il est probable que l'adaptation de la société québécoise passe entre autres par une sensibilisation accrue au phénomène et, ainsi : 1) on aurait recours à un réseau d'éducation imbriqué de façon systématique dans des processus de communication avec les jeunes (et leurs parents) sur la question du changement climatique; 2) une telle démarche influencerait positivement le système économique et politique, les mesures d'adaptation nécessitant une intervention du secteur public; 3) le rôle des médias amplifierait le transfert des connaissances. La couverture médiatique augmenterait probablement avec la multiplication des cas vécus de victimes du changement climatique. Cette situation existe déjà et l'on s'attend à ce qu'elle prenne de plus en plus d'importance.

3.5.3. Sensibilités et adaptation de l'environnement naturel et bâti

Environnement naturel et écosystèmes

Chaque écosystème a une biodiversité propre qui se maintient dans le temps de manière dynamique, en fonction de l'évolution des paramètres du milieu (Di Castri et Younes, 1990). La biodiversité se décline sur trois plans : diversité des gènes, diversité des espèces et diversité des écosystèmes (Di Castri et Younes, 1996). Une population est un groupe d'individus de la même espèce qui tente de maintenir ses effectifs de génération en génération; elle est l'unité sur laquelle s'exercent les pressions d'adaptation. À chaque nouvelle génération, les individus doivent s'adapter à un ensemble de facteurs écologiques et engendrer une descendance fertile pour le maintien de l'espèce. Les écosystèmes présentent une multitude de biens et services essentiels à la survie humaine, comme l'attestent certaines collectivités autochtones ou rurales particulièrement dépendantes de ces ressources (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2002).

Le climat est le principal facteur agissant sur la structure et la productivité végétale ainsi que sur la répartition des espèces animales et végétales à l'échelle mondiale (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2002). Il est certain que le changement climatique prévu sur le territoire du Québec aura des effets que l'on pourra constater à l'échelle locale, sur des populations ou des écosystèmes sensibles. Dans certains cas, le changement climatique se traduira par la réduction d'effectifs ou la disparition de certaines populations; pour d'autres, il sera l'occasion de multiplier les effectifs et d'étendre l'aire de répartition. Il modifiera les dynamiques écologiques des écosystèmes et, à moyen et long terme, les paysages (McCarty, 2001; Root et Schneider, 2002; Scott *et al.*, 2002; Walther *et al.*, 2002). Ces transformations ne sont pas déterministes; les êtres vivants sont soumis à de multiples pressions, et le changement climatique ne constitue qu'un des éléments de l'équation.

Enjeux différents

La sous-région sud abrite la majeure partie des espèces et des écosystèmes menacées ou vulnérables (Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue, 2003) et sera, entre autres, touchée par la hausse des températures moyennes, la modification du régime des crues et les redoux hivernaux (Kling *et al.*, 2003). Indirectement, en raison des impacts du changement climatique sur les Grands Lacs, le régime des crues et les débits et niveaux moyens du Saint-Laurent amèneront un réajustement géomorphologique, touchant de nombreuses espèces fauniques et floristiques, reliées ou non aux terres humides, qui subissent déjà les effets de l'activité humaine (Mortsch *et al.*, 2000; Morin *et al.*, 2005). La modification des débits du Saint-Laurent et des niveaux de base implique un réajustement morphologique des embouchures des tributaires qui se traduit par l'incision et la déstabilisation des lits et des berges. Des travaux sur deux deltas du lac Saint-Pierre indiquent des processus d'ajustements rapides s'accompagnant d'une progradation de ces formes dans le fleuve (Boyer *et al.*, 2004).

Les espèces végétales et animales de la sous-région centrale ont une grande résilience, et les communautés sont écologiquement jeunes, issues du retrait postglaciaire terminé il y a moins de 10 000 ans. Ces espèces adaptées à une importante variation climatique annuelle et à une récurrence des catastrophes, et constituant de grands effectifs répartis sur un territoire immense, seraient touchées essentiellement dans les zones de transition, c'est-à-dire les zones montagneuses et les zones ripariennes.

Dans le cas de la sous-région maritime, les écosystèmes côtiers et estuariens sont les plus à risque, en raison de l'érosion accrue qui entraîne la réduction des aires de reproduction et de l'alimentation pour de nombreuses espèces résidentes ou migratrices (Harvell *et al.*, 2002; Jackson et Mandrak, 2002; Kennedy *et al.*, 2002).

La sous-région nord sera possiblement la plus touchée par l'ampleur du changement climatique (Flanagan *et al.*, 2003). Les changements écologiques se feront au détriment d'espèces adaptées aux conditions extrêmes de l'Arctique (Rizzo et Wilken, 1992; Payette *et al.*, 2001). L'expansion nordique d'espèces typiques de la forêt boréale se fera à partir d'individus sur place, produisant plus facilement des graines viables. On note déjà une certaine adaptation de l'épinette noire (*Picea mariana*; Gamache et Payette, 2004, 2005). La vitesse de migration des isothermes sera toutefois beaucoup plus rapide que celle des plantes.

Partout, les réseaux hydrographiques et les lacs présentent une sensibilité particulière, compte tenu de leur cloisonnement pour la migration des espèces de poissons (Hauer *et al.*, 1997). En outre, des changements phénologiques des espèces sont envisageables, ainsi qu'une extension des aires de répartition des espèces limitées par des facteurs de températures moyennes ou minimales (Edwards et Richardson, 2004).

Sensibilité des espèces

Les organismes vivants réagissent directement aux facteurs écologiques et survivent selon leur tolérance. Ainsi, le nombre d'individus d'une population d'un écosystème est un indicateur de leur adaptation (Dajoz, 2000). Plus leur tolérance est élevée, meilleure est leur adaptation, comme l'ont démontré Albanese *et al.* (2004) chez les poissons.

Une espèce envahissante agrandit rapidement son aire de répartition dans un nouvel écosystème, soit parce qu'elle n'est plus limitée par un facteur écologique qui agissait autrefois, soit parce qu'elle profite de nouvelles conditions créées par une perturbation agissant sur les espèces dominantes du milieu (Bagon *et al.*, 1996).

La phénologie est l'étude des variations, en fonction du climat, des phénomènes périodiques de la vie végétale et animale, comme la date de migration, le déclenchement du comportement reproductif, la mue, la date de floraison ou de chute foliaire (Budyko, 1974). Plusieurs modifications phénologiques ont été constatées au XX^{e} siècle, et cette tendance, déclenchée par la température, les précipitations, la photopériode ou une combinaison d'événements, ne fera que s'accélérer (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2002). Visser et Both (2005) ont démontré que la plupart des espèces n'arrivent pas à coordonner les modifications de leur phénologie de façon optimale avec celles de leur nourriture. Ainsi, la date d'une migration déclenchée par une photopériode précise ne changera pas avec l'augmentation de la température mais en fonction du comportement des proies. Cette absence de coordination risque de réduire les effectifs de prédateurs migrants (Jones *et al.*, 2003; Strode, 2003).

Dans la sous-région sud, les espèces dépendantes du régime de crues du Saint-Laurent, comme le grand brochet (*Esox lucius*) et la perchaude (*Perca flavescens*), seront touchées (Casselman, 2002; Chu *et al.*, 2005, Brodeur *et al.*, 2006). L'approche combinant des modèles d'habitat multivariés avec la modélisation bidimensionnelle de la physique (Morin *et al.*, 2003; Mingelbier *et al.*, 2004, 2005) permet de mesurer les impacts du changement climatique sur les surfaces d'habitat disponibles pour plusieurs espèces de poissons durant les périodes cruciales de leur vie. La température de l'eau, la vitesse du courant et le niveau d'eau sont des variables clés pour comprendre quel effet le changement climatique aura sur les poissons. Déjà, des données indiquent un réchauffement de l'eau à certains endroits (Hudon, 2004) et les températures atypiques de l'été 2001 ont entraîné une mortalité massive de carpes dans le Saint-Laurent fluvial et ses affluents (Mingelbier *et al.*, 2001, Monette *et al.*, 2006). Les modifications projetées des crues printanières entraîneront une baisse de reproduction comme celle constatée chez les oiseaux palustres et la sauvagine de la plaine du Saint-Laurent qui comprennent quelques espèces en péril (Giguère *et al.*, 2005; Lehoux *et al.*, 2005; Desgranges *et al.*, 2006). Dans la plaine inondable du fleuve, le rat musqué est particulièrement sensible aux fluctuations hivernales du niveau de l'eau et des changements le toucheront profondément (Ouellet *et al.*, 2005).

Dans la région arctique, l'ours blanc (*Ursus maritimus*) est dépendant de la glace de mer et le renard arctique (*Alopex lagopus*) subit l'extension de l'aire du renard roux (*Vulpes vulpes*), à la recherche des mêmes ressources alimentaires (Hersteinsson et MacDonald, 1992; Stirling, 1999; Walther *et al.*, 2002, Derocher *et al.*, 2004).

Sensibilité des écosystèmes

Les écosystèmes aquatiques semblent les plus sensibles au changement climatique car leurs biocénoses se déplacent difficilement d'un bassin versant à un autre (Hauer *et al.*, 1997). Ainsi, des espèces comme le saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) seront perturbées à cause de la hausse de la température de l'eau qui atteindrait des valeurs à la limite de leur possibilité de survie (Swansberg et El-Jabi, 2001). Les nouvelles conditions de température favoriseront les espèces plus tolérantes aux températures élevées (*voir* la figure 27).

Les populations de poissons d'eau froide de la sous-région sud seront touchées par une eutrophisation accélérée ainsi que par des crues subites, potentiellement plus fréquentes, qui entraîneront une érosion du bassin versant et le transport de sédiments dans les lacs, tendance d'ailleurs déjà renforcée par l'activité humaine, comme l'agriculture, l'urbanisation et l'exploitation forestière (Shuter *et al.*, 1998).

L'augmentation des températures des lacs du sud causeraient de plus longues périodes de stratification thermique, entraînant des conditions anoxiques dans l'hypolimnion pendant une partie de l'année. Le touladi (*Salvelinus namaycus*), par exemple, est sensible

à ces deux derniers stress (Hesslein *et al.*, 2001). Les altérations des débits du fleuve Saint-Laurent vont également modifier la distribution spatio-temporelle des masses d'eau et les propriétés physico-chimiques caractéristiques (Frenette *et al.*, 2003, 2006). Ces changements risquent d'avoir une incidence sur la qualité nutritive des algues (Huggins *et al.*, 2004) et leur structure de communauté. La baisse de profondeur devrait se traduire par une augmentation de lumière près du fond et donc, une augmentation concomitante de la quantité de plantes submergées, ainsi que par des modifications des propriétés de la matière organique dissoute de l'eau et des particules (Martin *et al.*, 2005a).

Les terres humides de toutes les sous-régions sont sensibles au changement climatique en raison de la variation amplifiée du niveau des crues et des étiages annuels ou interannuels associée aux précipitations violentes ou aux sécheresses. Turgeon *et al.*, (2005) ont démontré qu'il existait des liens fondamentaux entre l'hydrologie et la distribution spatiale des grandes classes de terres humides. Plusieurs espèces fauniques utilisant les terres humides seraient perturbées, ce qui représente un enjeu important pour l'écosystème du Saint-Laurent, tout comme les marais du lac Saint-Pierre (Hudon *et al.*, 2005). De plus, d'autres pressions, notamment l'agriculture et le développement industriel et urbain, s'y exerceront (Bernier *et al.*, 1998; Robichaud et Drolet, 1998; Jean *et al.*, 2002; Ouranos, 2004) et entraîneront un fractionnement néfaste des habitats (Root et Schneider, 2002).

Les écosystèmes forestiers de la sous-région centrale ne devraient pas connaître d'importantes modifications de leur composition spécifique. Par contre, la fréquence des feux de forêts et l'activité humaine peuvent favoriser certaines formations végétales à l'échelle locale, en accélérant le processus d'ouverture du territoire forestier (Gagnon, 1998; Payette, 1999; Côté et Gagnon, 2002; Jasinski et Payette, 2005).

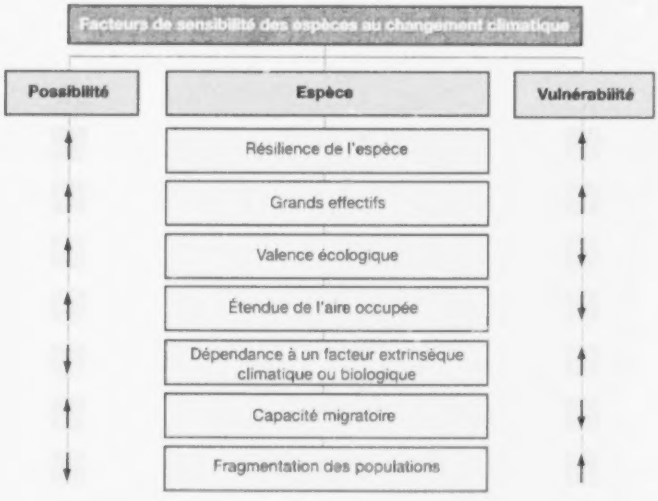


FIGURE 27 : Facteurs de sensibilité des espèces au changement climatique; ce dernier ne devrait pas entraîner de nombreuses disparitions d'espèces au Québec, mais des modifications dans les aires de répartition. En revanche, certaines populations disparaîtront probablement dans les écosystèmes les plus sensibles en raison de l'apparition de nouveaux facteurs limitatifs (Root et Schneider, 2002) ou d'une combinaison de facteurs anthropiques de dégradation de leur environnement.

Stratégies d'adaptation

Pour s'adapter au changement climatique et en réduire les impacts sur la biodiversité, plusieurs actions pourraient s'imposer :

- **La résilience des écosystèmes :** l'augmentation de la connectivité et la diminution de la fragmentation entre les écosystèmes afin de maintenir l'hétérogénéité génétique semblent être des pistes efficaces.
- **Le suivi des espèces sensibles :** la Stratégie québécoise sur la diversité biologique 2004-2007 a incité chaque ministère à déterminer un ensemble d'actions et à faire rapport régulièrement de l'état d'avancement de celles-ci au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2004b). Toutefois, comme le faisaient remarquer Gérardin *et al.* (2002), l'information sur la flore et la faune présente des lacunes, notamment sur la question des espaces non forestiers (p. ex., territoires forestiers non productifs, terres humides, flores subarctique et alpine) pouvant nuire à la capacité des autorités gouvernementales de faire un suivi des espèces sensibles au changement climatique.
- **Stratégie des aires protégées :** les aires protégées, territoires où certaines, voire toutes, les activités humaines sont interdites, servent à assurer la conservation de territoires ou d'écosystèmes naturels représentatifs ou rares (*voir* la figure 28). Contrairement au passé, l'approche actuelle (Stratégie des aires protégées) pour le choix des nouvelles aires protégées sous-tend « une vision holistique du territoire où l'écosystème est considéré comme une entité spatiale et où apparaît la notion de filtre brut » (Gérardin *et al.*, 2002). Toutefois, cette méthode, qui accorde une valeur prépondérante aux éléments physiques de l'écosystème, c'est-à-dire le climat, la géologie, la topographie, l'hydrologie et les sols, risque de fragiliser le futur réseau d'aires protégées et son rôle dans la protection des espèces et des écosystèmes, car le climat et l'hydrologie sont appelés à changer à moyen terme. Au niveau national, Parcs Canada a élaboré une stratégie qui tient compte du changement climatique dans son approche de gestion de la biodiversité des parcs existants (Wrona *et al.*, 2005). Au niveau municipal et privé, il ne semble pas exister de tels mécanismes. Il serait pertinent de considérer les aires protégées comme des aires témoins des régions naturelles et de leur évolution, et de les gérer en tenant compte du changement climatique à venir. Ainsi, pour favoriser l'adaptation, il conviendrait de :
    - compléter dès que possible le réseau d'aires protégées afin de conserver des secteurs représentatifs de chacune des régions naturelles;
    - favoriser la gestion scientifique des aires protégées, en disposant de programmes d'inventaire, de recherches et de suivi, de manière à pouvoir suivre l'évolution des

espèces et des écosystèmes dans un contexte de changement climatique, tout en disposant également de points de comparaison avec les territoires adjacents.

- **Modification des règles d'exploitation des ressources vivantes :** les changements constatés d'effectifs de certaines populations fauniques recherchées par les chasseurs et les pêcheurs commerciaux et sportifs nécessiteront un suivi plus serré afin d'éviter des pressions supplémentaires sur les espèces fragilisées ou de ralentir l'expansion de certaines espèces vers des zones où elles étaient historiquement absentes, mettant ainsi en péril d'autres espèces.
- **Intégration du changement climatique aux activités de gestion du territoire :** Génot et Barbault (2005) ont présenté une stratégie où l'enjeu de la préservation de la biodiversité dans un contexte de changement climatique est exposé en détail. Il s'agit d'étendre la responsabilité du suivi et de la gestion de la biodiversité aux gestionnaires du territoire, qui pourraient ainsi mieux comprendre cet enjeu et mieux adapter leurs pratiques afin de favoriser l'adaptation des espèces aux nouvelles conditions.

Conclusion : l'environnement naturel en changement à l'échelle du Québec

L'importance du climat pour les organismes vivants n'est plus à démontrer. Le changement climatique n'entrainerait pas de variations directes et continues de la composition des écosystèmes et de l'aire de répartition des espèces. Ses effets se combineraient à d'autres facteurs de dégradation de l'environnement à l'échelle locale et régionale. L'adaptation au changement climatique exigera des efforts pour réduire le stress imposé aux écosystèmes. Surtout, il faudra acquérir plus de connaissances et faire le suivi des espèces et des écosystèmes les plus susceptibles d'être vulnérables, de manière à ajuster les modes de gestion à cette nouvelle réalité.

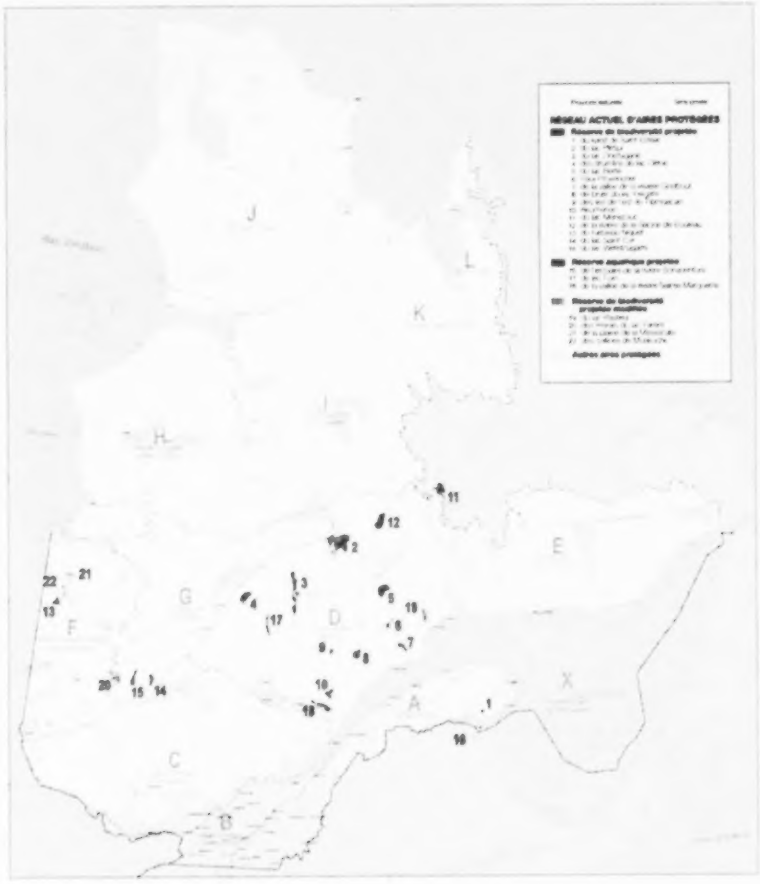


FIGURE 28 : Carte des aires protégées de différentes juridictions au Québec. Le Québec comporte des aires protégées de juridiction fédérale, provinciale et municipale ainsi que des aires protégées à caractère privé. Le gouvernement du Québec vise dans sa politique de conservation à se doter d'un réseau d'aires protégées couvrant 8 p. 100 du territoire (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, communication personnelle, 2005).

L'environnement bâti

Les sections précédentes ont traité de plusieurs aspects de la vulnérabilité d'une grande variété d'infrastructures et de bâtiments sensibles au climat. Le constat est finalement assez simple, la vaste majorité des infrastructures construites au cours du dernier siècle ont été conçues en intégrant des statistiques du climat et des risques passés, considérées comme étant représentatives des conditions climatiques futures. Ce critère est donc remis en cause, soulevant des questions de sécurité et d'efficacité des infrastructures, surtout à long terme. Heureusement, les usagers et les ingénieurs sont de plus en plus sensibilisés à cette problématique (Institut canadien des ingénieurs, 2006) et la capacité d'adaptation semble donc croissante (Infrastructure Canada, 2006). Néanmoins, les besoins en nouvelles infrastructures associées aux développements socio-économiques et les besoins de remise en état de nombreuses infrastructures vieillissantes demeureront considérables (Statistique Canada, 2006).

À long terme, les impacts directs et graduels du changement climatique (*voir* la figure 1) pourraient entraîner une dégradation accélérée ou une perte d'efficacité des divers types d'infrastructures et bâtiments. Une augmentation des cycles de gel-dégel tend à accélérer la détérioration des infrastructures recevant de grandes quantités de fondants. Les chaussées se déformeraient davantage sous des températures plus élevées en saison chaude, alors que les bâtiments mal adaptés contribueraient à rendre les températures intérieures un risque pour les personnes vulnérables. Au Québec, on a même constaté que les immeubles étaient parfois endommagés lors d'assèchement des sols argileux (Société canadienne d'hypothèques et de logement, 1996) à la suite d'étés chauds et secs. De plus, tout changement de fréquence, de la durée, de l'intensité et même de l'étendue de phénomènes atmosphériques extrêmes aurait un effet considérable sur la vulnérabilité de l'environnement bâti, d'autant plus que ces extrêmes ont tendance à se propager, selon le type d'événement, à l'hydrosphère (p. ex., inondation), la cryosphère (p. ex., embâcle) ou la lithosphère (p. ex., glissement de terrain). Il ne manque pas d'exemples au Québec où des événements climatiques à risque, considérés peu probables, se sont concrétisés, ayant une incidence sur l'environnement bâti, ainsi que sur plusieurs activités socio-économiques, les populations et même l'environnement naturel. Par exemple, la défaillance d'infrastructures aura grandement contribué aux impacts socio-économiques et environnementaux du « déluge du Saguenay » de 1996 (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 1996). Une multitude d'autres défaillances liées aux vagues, surcotes ou marées dommageables après le passage de tempêtes (*voir* la section 3.3), aux glissements de terrain causés par une importante saturation ou déstabilisation du sol (Lebuis *et al.* 1983), aux avalanches (Sécurité publique Canada, 2006) ou aux excès de précipitations sous forme solide (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 1999), voire même les feux de forêts, peuvent endommager l'environnement bâti.

Adaptation des infrastructures et bâtiments

Ces événements, et ceux anticipés, ont tendance à faire réagir les responsables pour qu'ils revoient leurs démarches, diminuant ainsi les vulnérabilités (voir le tableau 7 en fin de chapitre). Ces derniers ont ainsi, entre autres :

- commencé à réviser les critères de conception et les technologies utilisés;
- instauré des mesures d'urgence améliorées;
- structuré les réseaux de communication, tout en assurant la circulation de l'information et le transfert des connaissances;
- remis en cause des politiques d'aménagement du territoire et des règlements;
- développé des systèmes d'avertissement préventif.

Malgré ces expériences et ces apprentissages, l'adaptation planifiée afin de minimiser les impacts du changement climatique ne fait que débuter. Bien que les études portant sur ce sujet soient rares, il serait avantageux de tenir compte, dans la conception des infrastructures, de divers scénarios climatiques, lorsque disponibles, comme ce fut le cas pour le pont de la Confédération (Agence canadienne d'évaluation environnementale, 2000) puisqu'une fois construites, ces infrastructures sont peu adaptables et leur durée de vie est parfois longue. Pour les infrastructures qui ont une durée de vie plus courte, comme une route, il est plus facile d'introduire, au moment de leur réhabilitation, des solutions d'adaptation à moindre coût. Quant aux infrastructures critiques reliées aux services essentiels, à savoir l'énergie, l'eau, l'alimentation, les services de santé, et les transports, leur vulnérabilité doit être minimisée et faire l'objet de mesures palliatives en cas de défaillance; cependant, cette dernière considération peut être difficilement réalisable à un coût raisonnable dans le cas des régions éloignées.

En fait, des mesures d'adaptation peuvent être mises en œuvre ou introduites à différentes étapes du cycle de vie du bâti (voir la figure 29). Une analyse de risques soutiendrait la décision de construire ou de réhabiliter une infrastructure essentielle éloignée d'un site côtier. Elle pourrait promouvoir l'utilisation de matériaux de construction mieux adaptés, proposer une révision des critères de construction et réorienter les programmes de maintenance sur les problématiques appréhendées, bref des décisions couramment prises par les ingénieurs pour régler ou minimiser un problème.

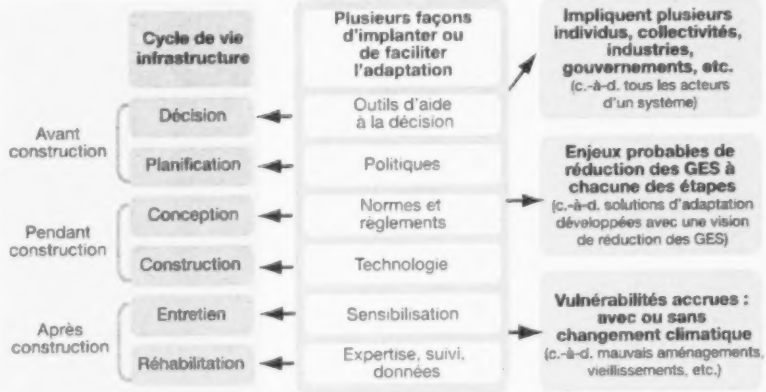


FIGURE 29 : Schéma des divers types de solutions d'adaptation dans le contexte du cycle de vie d'une infrastructure. Une analyse détaillée des risques acceptables par rapport à la rentabilité permettrait de développer une stratégie afin de minimiser les risques, de maximiser l'efficacité, et serait susceptible d'offrir la possibilité de mettre en place d'autres stratégies permettant de réduire les émissions de GES à la source du changement climatique (Gosselin *et al.*, 2005).

L'environnement bâti

Les sections précédentes ont traité de plusieurs aspects de la vulnérabilité d'une grande variété d'infrastructures et de bâtiments sensibles au climat. Le constat est finalement assez simple, la vaste majorité des infrastructures construites au cours du dernier siècle ont été conçues en intégrant des statistiques du climat et des risques passés, considérées comme étant représentatives des conditions climatiques futures. Ce critère est donc remis en cause, soulevant des questions de sécurité et d'efficacité des infrastructures, surtout à long terme. Heureusement, les usagers et les ingénieurs sont de plus en plus sensibilisés à cette problématique (Institut canadien des ingénieurs, 2006) et la capacité d'adaptation semble donc croissante (Infrastructure Canada, 2006). Néanmoins, les besoins en nouvelles infrastructures associées aux développements socio-économiques et les besoins de remise en état de nombreuses infrastructures vieillissantes demeureront considérables (Statistique Canada, 2006).

À long terme, les impacts directs et graduels du changement climatique (*voir* la figure 1) pourraient entraîner une dégradation accélérée ou une perte d'efficacité des divers types d'infrastructures et bâtiments. Une augmentation des cycles de gel-dégel tend à accélérer la détérioration des infrastructures recevant de grandes quantités de fondants. Les chaussées se déformeraient davantage sous des températures plus élevées en saison chaude, alors que les bâtiments mal adaptés contribueraient à rendre les températures intérieures un risque pour les personnes vulnérables. Au Québec, on a même constaté que les immeubles étaient parfois endommagés lors d'assèchement des sols argileux (Société canadienne d'hypothèques et de logement, 1996) à la suite d'étés chauds et secs. De plus, tout changement de fréquence, de la durée, de l'intensité et même de l'étendue de phénomènes atmosphériques extrêmes aurait un effet considérable sur la vulnérabilité de l'environnement bâti, d'autant plus que ces extrêmes ont tendance à se propager, selon le type d'événement, à l'hydrosphère (p. ex., inondation), la cryosphère (p. ex., embâcle) ou la lithosphère (p. ex., glissement de terrain). Il ne manque pas d'exemples au Québec où des événements climatiques à risque, considérés peu probables, se sont concrétisés, avant une incidence sur l'environnement bâti, ainsi que sur plusieurs activités socio-économiques, les populations et même l'environnement naturel. Par exemple, la défaillance d'infrastructures aura grandement contribué aux impacts socio-économiques et environnementaux du « déluge du Saguenay » de 1996 (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 1996). Une multitude d'autres défaillances liées aux vagues, surcotes ou marées dommageables après le passage de tempêtes (*voir* la section 3.3), aux glissements de terrain causés par une importante saturation ou déstabilisation du sol (Tebuis *et al.*, 1983), aux avalanches (Sécurité publique Canada, 2006) ou aux excès de précipitations sous forme solide (Ministère de la Sécurité publique du Québec, 1999), voire même les feux de forêts, peuvent endommager l'environnement bâti.

Adaptation des infrastructures et bâtiments

Ces événements, et ceux anticipés, ont tendance à faire réagir les responsables pour qu'ils revoient leurs démarches, diminuant ainsi les vulnérabilités (voir le tableau 7 en fin de chapitre). Ces derniers ont ainsi, entre autres :

- commencé à réviser les critères de conception et les technologies utilisés;
- instauré des mesures d'urgence améliorées;
- structuré les réseaux de communication, tout en assurant la circulation de l'information et le transfert des connaissances;
- remis en cause des politiques d'aménagement du territoire et des règlements;
- développé des systèmes d'avertissement préventif.

Malgré ces expériences et ces apprentissages, l'adaptation planifiée afin de minimiser les impacts du changement climatique ne fait que débuter. Bien que les études portant sur ce sujet soient rares, il serait avantageux de tenir compte, dans la conception des infrastructures, de divers scénarios climatiques, lorsque disponibles, comme ce fut le cas pour le pont de la Confédération (Agence canadienne d'évaluation environnementale, 2000) puisqu'une fois construites, ces infrastructures sont peu adaptables et leur durée de vie est parfois longue. Pour les infrastructures qui ont une durée de vie plus courte, comme une route, il est plus facile d'introduire, au moment de leur réhabilitation, des solutions d'adaptation à moindre coût. Quant aux infrastructures critiques reliées aux services essentiels, à savoir l'énergie, l'eau, l'alimentation, les services de santé, et les transports, leur vulnérabilité doit être minimisée et faire l'objet de mesures palliatives en cas de défaillance; cependant, cette dernière considération peut être difficilement réalisable à un coût raisonnable dans le cas des régions éloignées.

En fait, des mesures d'adaptation peuvent être mises en œuvre ou introduites à différentes étapes du cycle de vie du bâti (voir la figure 29). Une analyse de risques soutiendrait la décision de construire ou de réhabiliter une infrastructure essentielle éloignée d'un site côtier. Elle pourrait promouvoir l'utilisation de matériaux de construction mieux adaptés, proposer une révision des critères de construction et recentrer les programmes de maintenance sur les problématiques appréhendées, bref des décisions couramment prises par les ingénieurs pour régler ou minimiser un problème.

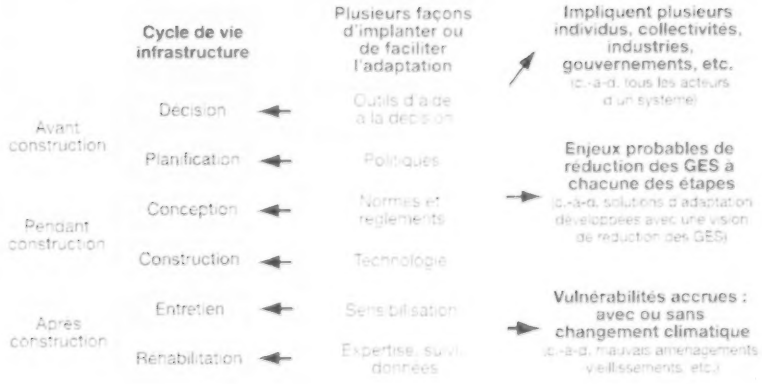


FIGURE 29 : Schéma des divers types de solutions d'adaptation dans le contexte du cycle de vie d'une infrastructure. Une analyse détaillée des risques acceptables par rapport à la rentabilité permettrait de développer une stratégie afin de minimiser les risques, de maximiser l'efficacité, et serait susceptible d'offrir la possibilité de mettre en place d'autres stratégies permettant de réduire les émissions de GES à la source du changement climatique (Gosselin *et al.*, 2005).

TABLEAU 7 : Exemples de décisions (regroupées par types) appliquées ou en mode expérimental favorisant l'adaptation aux changements climatiques pour différentes collectivités et divers secteurs (créé aux fins du présent document). Les numéros référent à des références fournies aux pages 48-49.

	Développer et comprendre Acquisition d'informations et développement d'une expertise	Communiquer et sensibiliser Sensibilisation et modifications des comportements	Intervenir et légiférer Modifications des lois, règlements et normes	Utiliser des technologies nouvelles ou existantes Utilisation de techniques, produits, matériaux	Appliquer et recommander des directives ou démarches Ajustements des pratiques et politiques
COLLECTIVITÉS					
Isolées	Cartographier les zones sensibles pour le développement d'infrastructures (1)	Diffuser l'information relative aux conditions des réseaux de transport (2)	Établir des normes d'aménagement du territoire en fonction des zones sensibles (2-3)	Appliquer des techniques de réduction du dégel du pergélisol (4)	Réaliser un guide de bonnes pratiques pour la construction sur pergélisol (5)
Dépendantes des ressources naturelles	Identifier les meilleures sources de graines/génotypes (6)	Informer les collectivités des risques de feux au moyen de l'indice forêt-météo (7)	Réglementer la pêche (date d'ouverture et de clôture, lieux, etc.) (8)	Gérer la pêche en fonction des habitats pour assurer la viabilité des ressources (8)	Mettre en place un programme de diversification économique des collectivités à risque (9)
Côtières	Création d'un projet scientifique intégré à un volet participatif afin de repondre aux besoins des regions côtières (10)	Preparer les citoyens, municipalités, gouvernements et autres acteurs à l'aide d'exercices de simulations (11)	Réglementer la construction en zones inondables zonages, règlement de contrôle intérimaire (12)	Suivi des ouvrages de protection (13)	Établir une gestion intégrée des zones côtières (14)
Rurales	Identifier les cultivars utilisés plus au sud (analogues) et appropriés pour la région (15)	Sensibiliser le public à l'économie d'eau en période de sécheresse (16)	Mettre en place un programme de stabilisation des revenus, d'assurances privées et de mesures incitatives pour tenir compte du changement climatique (17)	Généraliser l'irrigation goutte- à-goutte et les technologies combinées de drainage superficiel et d'écoulement (18)	Installer des systèmes d'aération efficaces ou des gicleurs pour refroidir le bétail (19)
Urbaines	Identifier les terrains propices aux espèces allergènes et cartographier les sources d'émissions allergènes (20)	Informer sur les mesures en cas d'urgence de la municipalité (21 -22)	Réglementer les normes de résistance dans la construction (23), Code du bâtiment en matière d'énergie (24)	Étendre l'utilisation de surfaces et de revêtements réflechissants (toitures, peintures de façades, etc.) (25)	Mettre en place des systèmes d'alerte locale chaleur-santé-canicule (26)
SECTEURS					
Santé	Analyser le lien morbidité-mortalité et climat (27-28)	Sensibiliser la population aux périodes de smog et de canicule et donner des conseils (29)	Prendre des mesures préventives de limitation des émissions polluantes (en début de période anticyclonique) (30)	Procéder à des campagnes d'arrachage de l'herbe à poux et à la plantation d'espèces compétitrices (20)	Utiliser les toits verts ou à matériaux à albédo élevé (12-25). Mettre en place des guides de soins adaptés pour les clientèles de soins à domicile lors d'événements extrêmes.
Infrastructures	Analyser par diachronie des photos aériennes du littoral et calculer le taux d'érosion (12)	Mettre sur pied des systèmes de prédiction et d'alerte, éducation du public (23)	Loi provinciale sur la sécurité civile adoptée en 2001 à la suite de la crise du verglas de 1998 (31)	Concevoir des bâtiments plus résistants (12) ou mieux adaptés aux nouvelles moyennes (32)	Ajout de 1 m au pont de la Confédération dû à l'élévation anticipée du niveau de la mer (38)
Secteur primaire de l'économie	Développer la lutte biologique pour contrôler les propagations (6)	Sensibiliser à une gestion des récoltes et des champs adaptée aux conditions climatiques présentes et anticipées (15)	Modification à la Loi sur les forêts pour évacuer le concept dépassé du rendement soutenu en volume (34)	Utiliser des espèces et cultivars adaptés à différentes conditions climatiques (15)	Prévoir en constituant sa propre reserve financière de secours (35)
Secteur tertiaire de l'économie	Outils d'évaluation économique (39-36)	Diversifier l'offre récréotouristique afin de minimiser le risque climatique (37)	S'assurer contre les pertes dues au mauvais temps, produits dérivés climatiques (22)	Mettre en place des plans d'urgence, d'intervention et d'évacuation (22)	Rehausser les critères de conception des ponts et ponceaux de 10 p. 100 (génie civil, MTQ) (38)
Eau	Mettre à jour les courbes IDF (40,41)	Diffuser les pratiques de gestion de récuperation des eaux de pluie (42)	Mettre en œuvre l'entente internationale sur les ressources en eau du bassin des Grands-Lacs (48)	Réhabiliter les ressources dégradées (22)	Tester, revoir les regles de gestion en se basant sur divers scenarios climatiques possibles (42)
Écosystèmes	Cartographier les niches écologiques et évaluer les changements (42)	Colloque lors d'événements de vulgarisation scientifique (44)	Maintenir une représentation faunique et floristique régionale, creation de parc (aires protégées) (45)	Restaurer et préserver les terres humides (46)	Protection des espèces et des habitats (47)

TABLEAU 7 : Exemples de décisions (regroupées par types) appliquées ou en mode expérimental favorisant l'adaptation aux changements climatiques pour différentes collectivités et divers secteurs (créé aux fins du présent document). Les numéros réfèrent à des références fournies aux pages 48-49.

	Développer et comprendre Acquisition d'informations et développement d'une expertise	Communiquer et sensibiliser Sensibilisation et modifications des comportements	Intervenir et légiférer Modifications des lois, règlements et normes	Utiliser des technologies nouvelles ou existantes Utilisation de techniques, produits, matériaux	Appliquer et recommander des directives ou démarches Ajustements des pratiques et politiques
COLLECTIVITÉS					
Isolées	Cartographier les zones sensibles pour le développement d'infrastructures (1)	Diffuser l'information relative aux conditions des réseaux de transport (2)	Établir des normes d'aménagement du territoire en fonction des zones sensibles (2-3)	Appliquer des techniques de réduction du dégel du pergélisol (4)	Réaliser un guide de bonnes pratiques pour la construction sur pergélisol (5)
Dépendantes des ressources naturelles	Identifier les meilleures sources de graines/génotypes (6)	Informer les collectivités des risques de feux au moyen de l'indice forêt-météo (7)	Réglementer la pêche (date d'ouverture et de clôture, lieux, etc.) (8)	Gérer la pêche en fonction des habitats pour assurer la viabilité des ressources (8)	Mettre en place un programme de diversification économique des collectivités à risque (9)
Côtières	Création d'un projet scientifique intégré à un volet participatif afin de répondre aux besoins des régions côtières (10)	Préparer les citoyens, municipalités, gouvernements et autres acteurs à l'aide d'exercices de simulations (11)	Réglementer la construction en zones inondables, zonages, règlement de contrôle intérimaire (12)	Suivi des ouvrages de protection (13)	Établir une gestion intégrée des zones côtières (14)
Rurales	Identifier les cultivars utilisés plus au sud (analogues) et appropriés pour la région (15)	Sensibiliser le public à l'économie d'eau en période de sécheresse (16)	Mettre en place un programme de stabilisation des revenus, d'assurances privées et de mesures incitatives pour tenir compte du changement climatique (17)	Généraliser l'irrigation goutte- à-goutte et les technologies combinées de drainage superficiel et d'écoulement (18)	Installer des systèmes d'aération efficaces ou des gicleurs pour refroidir le bétail (19)
Urbaines	Identifier les terrains propices aux espèces allergènes et cartographier les sources d'émissions allergènes (20)	Informer sur les mesures en cas d'urgence de la municipalité (21 -22)	Réglementer les normes de résistance dans la construction (23), Code du bâtiment en matière d'énergie (24)	Étendre l'utilisation de surfaces et de revêtements réfléchissants (toitures, peintures de façades, etc.) (25)	Mettre en place des systèmes d'alerte locale chaleur-santé-canicule (26)
SECTEURS					
Santé	Analyser le lien morbidité-mortalité et climat (27-28)	Sensibiliser la population aux périodes de smog et de canicule et donner des conseils (29)	Prendre des mesures préventives de limitation des émissions polluantes (en début de période anticyclonique) (30)	Procéder à des campagnes d'arrachage de l'herbe à poux et à la plantation d'espèces compétitrices (20)	Utiliser les toits verts ou à matériaux à albédo élevé (12-25). Mettre en place des guides de soins adaptés pour les clientèles de soins à domicile lors d'événements extrêmes.
Infrastructures	Analyser par diachronie des photos aériennes du littoral et calculer le taux d'érosion (12)	Mettre sur pied des systèmes de prédiction et d'alerte, éducation du public (23)	Loi provinciale sur la sécurité civile adoptée en 2001 à la suite de la crise du verglas de 1998 (31)	Concevoir des bâtiments plus résistants (12) ou mieux adaptés aux nouvelles moyennes (32)	Ajout de 1 m au pont de la Confédération dû à l'élévation anticipée du niveau de la mer (38)
Secteur primaire de l'économie	Développer la lutte biologique pour contrôler les propagations (6)	Sensibiliser à une gestion des récoltes et des champs adaptée aux conditions climatiques présentes et anticipées (15)	Modification à la Loi sur les forêts pour évacuer le concept dépassé du rendement soutenu en volume (34)	Utiliser des espèces et cultivars adaptés à différentes conditions climatiques (15)	Prévoir en constituant sa propre réserve financière de secours (35)
Secteur tertiaire de l'économie	Outils d'évaluation économique (39-36)	Diversifier l'offre récréotouristique afin de minimiser le risque climatique (37)	S'assurer contre les pertes dues au mauvais temps, produits dérivés climatiques (22)	Mettre en place des plans d'urgence, d'intervention et d'évacuation (22)	Rehausser les critères de conception des ponts et ponceaux de 10 p. 100 (génie civil, MTQ) (38)
Eau	Mettre à jour les courbes IDF (40,41)	Diffuser les pratiques de gestion de récupération des eaux de pluie (42)	Mettre en œuvre l'entente internationale sur les ressources en eau du bassin des Grands-Lacs (48)	Réhabiliter les ressources dégradées (22)	Tester, revoir les règles de gestion en se basant sur divers scénarios climatiques possibles (42)
Écosystèmes	Cartographier les niches écologiques et évaluer les changements (42)	Colloque lors d'événements de vulgarisation scientifique (44)	Maintenir une représentation faunique et floristique régionale, création de parc (aires protégées) (45)	Restaurer et préserver les terres humides (46)	Protection des espèces et des habitats (47)

L'impact de l'évolution des risques climatiques pertinents pour l'environnement bâti bénéficierait de : 1) la mise au point de meilleurs scénarios climatiques et de meilleurs scénarios d'impacts (tant sur l'environnement naturel que bâti) ; 2) la prise en considération de l'incertitude climatique dans l'analyse des risques au moment de la conception des infrastructures; et 3) l'intégration de nouveaux seuils de tolérance au risque, appelés à changer en fonction des besoins.

L'adaptation sous un climat stationnaire étant un champ d'expertise connu et parsemé d'histoires à succès, l'adaptation sous un climat nouveau, variable et plus incertain, s'avère un champ d'expertise récent pour lequel les histoires à succès sont à venir, mais probablement réalisables. Par ailleurs, les solutions d'adaptation pertinentes pour les ingénieurs du secteur municipal (p. ex., un bassin de rétention en surface pour drainage urbain) peuvent devenir des problématiques majeures pour d'autres champs d'expertise touchés par le changement climatique (p. ex., le développement accru de moustiques qui peuvent propager le virus du Nil occidental).

4 SOMMAIRE ET CONCLUSION

La sphère d'influence des conditions météorologiques et du climat est vaste. Des impacts climatiques généralement peu documentés apparaissent graduellement et subtilement, au rythme des changements de moyennes ou des statistiques de la variabilité climatique. Jusqu'à maintenant, ces évolutions ont, dans l'ensemble, suivi à l'échelle planétaire les tendances appréhendées par le GIEC et présentées dans ses rapports. Les impacts d'événements climatiques extrêmes retiennent l'attention par leur importance, leur soudaineté et leur caractère spectaculaire, mais la difficulté d'établir un rapport direct avec le changement climatique subsiste, puisque, par définition, il s'agit d'événements rares. Globalement, on sait que l'ampleur du changement climatique, y compris certains événements extrêmes dont la fréquence, l'intensité et la durée sont projetés d'augmenter, rendra de plus en plus importants et perceptibles les impacts sur la population, l'environnement naturel et bâti, ainsi que sur les activités socio-économiques. Compte tenu de l'ampleur anticipée du changement climatique, la réaction des systèmes naturels et humains (ou l'adaptation) pourra moduler, voire transformer les impacts tantôt négatifs, tantôt positifs. Malgré les nombreuses incertitudes qui persistent et la complexité des impacts directs et indirects qui se produisent en même temps que de nombreux autres changements touchant la vulnérabilité, certains constats se dégagent de la présente analyse de synthèse dont voici les grandes lignes :

- Pour ce qui est des populations, les impacts du changement climatique – en particulier les impacts indirects issus des réactions de l'environnement naturel et bâti – entraîneraient une hausse des risques sur les plans de la santé, de la sécurité et du bien-être. L'application de mesures d'adaptation, surtout préventives et priorisées pour les populations à risque, ou en voie de l'être, minimiserait l'ampleur des impacts négatifs, notamment la chaleur accablante, la pollution accrue, la qualité amoindrie de l'eau, l'exposition aux rayonnements UV, les zoonoses, les événements causant blessures et mortalité. Ces mesures consistent, entre autres, en une modification des comportements à risque, en une aide aux populations vulnérables et en un aménagement du territoire visant à réduire les risques climatiques.
- Pour ce qui est de l'environnement naturel, toutes les sphères du système climatique connaîtraient des transformations graduelles suivant les tendances à long terme, avec d'occasionnelles manifestations davantage perceptibles reliées aux changements de fréquence, d'intensité, de durée ou d'étendue d'événements extrêmes ou d'événements seuils. Naturellement, les paysages seraient refaçonnés sous l'effet du changement climatique, de même que l'hydrologie et la géomorphologie des cours d'eau, alors que la répartition et l'abondance relative des espèces de la flore et de la faune seraient également modifiées. À l'échelle régionale, des impacts variés déclencheraient des réactions d'adaptation spontanées et complexes. Plus que le simple déplacement d'écosystèmes vers le nord, plusieurs espèces menacées et écosystèmes rares risqueraient de disparaître, surtout dans les territoires où l'activité humaine est intense. Ces changements auraient des effets favorables et défavorables selon les régions, les usages et les perceptions. Pour ce qui est des ressources forestières, il est difficile d'anticiper leur évolution, étant donné que des impacts positifs (p. ex., taux de CO_2 et températures plus élevés, allongement de la saison de croissance) et négatifs (p. ex., insectes et agents pathogènes, événements climatiques extrêmes) sont à prévoir.
- De son côté, l'environnement bâti ne s'adapte pas spontanément. Par exemple, la réalisation des projets de génie qui se base en général sur une hypothèse de climat historiquement stable, devrait être revue en fonction de nouvelles données climatiques évolutives. Même si les changements de moyennes résultent en une usure accélérée ou en une perte d'efficacité des infrastructures, plusieurs de ces dernières, on le sait, seront particulièrement sensibles à une hausse de la fréquence des événements climatiques extrêmes. Ainsi, des stratégies d'adaptation appliquées en priorité aux infrastructures essentielles ou à celles dont les analyses de rentabilité le recommanderaient (coûts associés aux solutions d'adaptation contre cycles de vie des infrastructures), permettraient de limiter l'ampleur des impacts appréhendés. Dans un contexte de vieillissement généralisé de l'environnement bâti, laissant

présager une vulnérabilité accrue pour le Québec, il serait crucial d'investir dans des travaux de réhabilitation ou de recalibrage des infrastructures, ainsi que dans de nouveaux projets, afin de diminuer les risques de façon préventive, plutôt que de réagir aux événements ayant d'importants impacts directs et indirects.

- De tous les impacts appréhendés, ce sont les impacts sur les activités socio-économiques qui restent les plus difficiles à cerner. Ceux-ci dépendent, en effet, à la fois des impacts biophysiques encore mal quantifiés et de réactions complexes concomitantes, tels que les mécanismes de marché, les perceptions et les développements technologiques. Certaines activités seraient favorisées par des changements petits et graduels alors que d'autres seraient défavorisées par des changements plus grands, imprévus, ou encore, par une hausse du nombre des événements climatiques extrêmes. Si l'on commence à pouvoir estimer les impacts économiques, les impacts sociaux à moyen et à long terme, eux, relèvent plus de la spéculation. Bien que, pour le Québec, des gains et des occasions de développement économique d'une valeur annuelle estimée à plusieurs centaines de millions de dollars puissent découler du changement climatique, des pertes et des risques économiques beaucoup plus difficiles à évaluer, et dépassant largement le contexte économique, sont à craindre. Néanmoins, la capacité sur le plan socio-économique du Québec de s'adapter au changement climatique, surtout graduel, est grande par rapport à des économies moins vigoureuses et moins diversifiées. Le défi réside dans le fait de structurer les efforts afin de définir les problématiques et de mettre en place des solutions durables dans un système sociopolitique complexe. La capacité de gérer le changement permettra d'atténuer l'ampleur des impacts et de valoriser les occasions de développement à saisir.
- La sous-région nord devrait connaître le changement climatique le plus important en valeur absolue. Ce dernier viendra ajouter à la complexité des enjeux auxquels cette sous-région fait face à l'heure actuelle, associés notamment à la forte exposition des collectivités aux risques naturels, à leur dépendance face à de nombreuses infrastructures essentielles, à leur accès aux ressources et à leurs modes de vie traditionnels étroitement liés au maintien de l'environnement naturel actuel. Ainsi, il s'avère important de gérer les répercussions de la fonte du pergélisol, des modifications des régimes de glace et de neige ainsi que de la transformation de la biosphère, en particulier la précarisation des espèces dépendantes de la glace de mer, en même temps que de la forte croissance démographique, des nombreux enjeux de développement et des importants changements socio-économiques. Des occasions de développement liées à la navigation, à la production d'énergie, au secteur minier dans des conditions hivernales moins froides et à une diversification de la faune et de la flore sont possibles. Bien que l'on vise à minimiser les coûts des impacts et de l'adaptation, les enjeux portent surtout sur la sécurité, la santé et le bien-être de populations vulnérables en raison de leur isolement. Les études d'impacts environnementaux de nouveaux projets de développement devraient nécessairement tenir compte du changement climatique.
- La sous-région centrale, aux vastes étendues de ressources naturelles, pourrait voir son environnement se transformer et ses secteurs économiques améliorer leur productivité, comme l'hydroélectricité, grâce à des apports annuels en eau plus importants, ou encore la forêt, en raison d'une croissance plus rapide constatée dans des climats moins froids. Ce scénario demeure toutefois incertain pour plusieurs raisons, à savoir des observations historiques limitées et des tendances récentes inconsistantes, le manque de connaissances sur le plan de la phénologie des espèces et de l'hydrologie régionale, des outils d'évaluation en voie d'élaboration, des risques accrus reliés aux événements climatiques extrêmes mal connus, l'incertitudes des scénarios hydroclimatiques, complexité de la dynamique des écosystèmes et impacts sur le prix des ressources sur les marchés continentaux. De plus, compte tenu de la documentation limitée portant sur cette sous-région peu peuplée, il est probable que de nombreux impacts environnementaux et sociaux pouvant être considérés comme indésirables soient complètement inconnus à ce jour.
- La sous-région maritime, pour sa part, est fortement exposée aux aléas climatiques et à l'hydrosphère. Ses collectivités, côtières et partiellement isolées, présentent une grande vulnérabilité socio-économique, accentuée au cours de la dernière décennie par l'effondrement des industries de la pêche et de la forêt. De plus, le processus d'érosion côtière en cours s'accélérant, il entrainerait une plus grande vulnérabilité des infrastructures, de l'environnement bâti ou encore des attraits touristiques. Une gestion intégrée, comprenant une bonne planification, ainsi qu'un aménagement soutenu et anticipé semblent représenter la meilleure stratégie d'adaptation afin de limiter les impacts de ce phénomène. L'un des grands défis des prochaines décennies est sans contredit la gesti[illegible]t la prévention des impacts dans ces régions à risque croissant.
- La sous-région sud pourrait profiter, quant à elle, d'une productivité accrue des cultures si les problèmes de disponibilité d'eau et de variabilité climatique étaient limités. En outre, une hausse des températures aura pour effet de réduire la consommation annuelle d'énergie. Par contre, que ce soit en milieu rural ou en milieu urbain, l'environnement bâti ne sera pas optimisé en fonction du climat appréhendé. Ainsi, cette sous-région que caractérise une densification et une hausse de sa population, l'interdépendance complexe de ses infrastructures, la tertiarisation de son économie associée à l'évolution des marchés internationaux, un tissu social en évolution et une population de plus en plus désensibilisée aux conditions climatiques, rassemble beaucoup de facteurs pouvant générer des impacts nombreux, complexes, et parfois coûteux, surtout reliés à une augmentation de fréquence, d'intensité ou de durée des événements climatiques extrêmes. Les changements appréhendés du cycle de l'eau et les impacts sur les nombreux usages de la ressource hydrique soulèvent des préoccupations quant à la pérennité de celle-ci et à la sécurité des populations face aux inondations. Enfin, une série d'autres impacts indirects, souvent peu documentés et se confondant à des événements sans lien avec le changement climatique, auront une incidence sur la biodiversité régionale ainsi que sur la santé, la sécurité et le bien-être des populations de même que sur les perceptions, les prix des biens et services saisonniers, l'immigration, le tourisme

et les loisirs. Afin de réduire les risques, on devrait, entre autres, appliquer des solutions aussi diversifiées que l'intégration de la notion d'adaptation au changement climatique aux lois, aux normes de construction et aux politiques organisationnelles, et accentuer les efforts faits auprès de la population pour la sensibiliser davantage à ce changement. Bien qu'une planification tenant compte d'impacts anticipés puisse contribuer à l'adaptation, une variété d'informations, d'outils et de politiques pourra aussi rendre la société plus résiliente, sinon au changement climatique, du moins à ses impacts.

Manifestement, les solutions d'adaptation viennent s'ajouter aux efforts investis dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le contexte des défis que posent le changement climatique. Depuis des siècles, les systèmes humains ont eu tendance à réagir aux impacts de la variabilité naturelle du système climatique de manière à diminuer leur exposition au climat et à augmenter leur capacité d'adaptation et leur résilience. Quant aux actions permettant de faire face aux inconnus climatiques futurs, un résumé d'une variété de stratégies d'adaptation existantes ou à l'étude, appliquées et applicables aussi bien à des collectivités qu'à des activités socio-économiques est présenté au tableau 7. On y observe que les systèmes humains auront tendance à s'adapter de différentes façons pour minimiser les impacts négatifs ou pour y faire face, ou encore pour optimiser les occasions de développement. Le tableau permet aussi de constater à quel point les acteurs de l'adaptation sont nombreux (individus, collectivités, industries, instances provinciales, fédérales et internationales), que le temps d'intervention est de durée variable (décision à court terme, planification à long terme) et que les stratégies ciblent différents obstacles à l'adaptation. Ces stratégies sont regroupées en cinq catégories :

- **développer et comprendre** en vue d'acquérir des informations;
- **communiquer et sensibiliser** dans le but d'accroître le degré de sensibilisation et de modifier les comportements;
- **intervenir et légiférer** afin de modifier des lois, règlements et normes;
- **appliquer des technologies nouvelles ou existantes** en ayant recours à des techniques, produits et matériaux;
- **appliquer et recommander des directives ou démarches** pour fournir des exemples d'ajustements de pratiques ou de politiques internes.

Ainsi, on peut se faire une idée de ce qui pourrait être amené à se généraliser dans l'avenir.

Les défis que devra relever le Québec, au même titre que l'ensemble des habitants de la planète, sont immenses et teintés d'incertitudes. Comme l'indique le chapitre 10, pour arriver à relever le défi du changement climatique, il faudra disposer de plusieurs outils ou développer plusieurs habiletés : 1) davantage de données pertinentes et de qualité pour comprendre; 2) meilleur suivi et système d'avertissement pour se préparer; 3) interaction accrue entre les chercheurs et les acteurs politiques et opérationnels de l'adaptation afin de faciliter le transfert de technologies; 4) leadership et ouverture d'esprit de l'ensemble de la société afin de déterminer et de prioriser les problèmes et de remettre en question au bon moment et de la bonne façon; 5) multidisciplinarité et interdisciplinarité croissantes, tout en maintenant les efforts dans diverses spécialités des sciences climatiques, des autres sciences biophysiques, des sciences économiques, des sciences sociales et des sciences de la santé.

Enfin, les perceptions et les comportements, les processus et les facteurs menant aux prises de décisions, de même que les aspirations et les convictions des individus et des collectivités, apparaissent comme des éléments fondamentaux dans l'adaptation des systèmes humains. Car, en fin de compte, c'est bien entre les mains de ces hommes et de ces femmes qui prendront les décisions que repose l'avenir.

RÉFÉRENCES DU TABLEAU 7

(1) Ministère des Transports du Québec. *Adapter les transports aux changements climatiques. Dégel du pergélisol*, Ministère des Transports du Québec, 2005, <http://www.mtq.gouv.qc.ca/fr/ministere/environnement/climat/pergelisol.asp>, [consultation : 2 mai 2007].

(2) Journée technique. *Le changement climatique au Québec nordique et ses enjeux*, Journée technique tenue le 3 mai 2005 à Montréal (Québec), 2005, <http://www.ouranos.ca/doc/nord_f.html>, [consultation : 2 mai 2007].

(3) Karstein L. et U. Domaas. *Évaluation des risques d'avalanche au Nunavik et sur la Côte-Nord du Québec, Canada*, Institut géotechnique de Norvège, rapport réalisé pour le Ministère de la sécurité publique du Québec, 2000, 35 p.

(4) Doré G. et I. Beaulac. *Impacts du dégel du pergélisol sur les infrastructures de transport aérien et routier au Nunavik et adaptations - état des connaissances*, Faculté des Sciences et de Genie, Université Laval, Québec (Québec), 2005, 141 p.

(5) Allard, M., R. Fortier et O. Gagnon. *Problématique du développement du village de Salluit, Nunavik, Québec*, Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec (Québec), 2002, 121p.

(6) Beaulieu, J. et A. Rainville. « Adaptation to climate change: Genetic variation is both a short-term and a long-term solution », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, 2005, pp. 704-709.

(7) Environnement Canada. *Site Internet*, Environnement Canada, 1997, <http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/fr/current/cc_fw_f.php>, [consultation : 2 mai 2007].

(8) Irvine, J. *Climate Change, Adaptation, and 'Endangered' Salmon in Canada*, comptes rendus de la conférence Species at Risk 2004 Pathways to Recovery tenue du 2 au 6 mars 2004 à Victoria (Colombie-Britannique), 2004.

(9) Développement économique Canada. *Section Programme développement économique Canada Régions du Québec*, Développement économique Canada, 2007, <http://www.dec-ced.gc.ca/ASP/ProgrammesServices/ProgrammesServices_intro.asp>, [consultation : 2 mai 2007].

(10) Ouranos. Programme *Environnement maritime*, Ouranos, 2007, <http://www.ouranos.ca>, [consultation : 2 mai 2007].

(11) Journée de présentation. *Changement climatique et usages de l'eau dans le bassin versant de la Châteauguay*, Ouranos, 2007, <http://www.ouranos.ca/doc/chateauguay_fev2004_f.html>, [consultation : 2 mai 2007].

(12) Mehdi, B., C. Mrena et A. Douglas. *S'adapter aux changements climatiques: une introduction à l'intention des municipalités canadiennes*, Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN), 2005, 35 p.

(13) Morneau, F. *Étude d'impact sur l'environnement : projets de protection des berges le long de la route 132 autour de la péninsule gaspésienne*, rapport principal, Ministère des Transports du Québec, 2001, 83 p.

(14) Dubois, J.M., P. Bernatchez, J.-D. Bouchard, B. Daigneault, D. Caver et S. Dugas. *Évaluation du risque d'érosion du littoral de la Côte Nord du St-Laurent pour la période de 1996 à 2003*, Conférence régionale des élus de la Côte-Nord, rapport présenté au Comité interministériel sur l'érosion des berges de la Côte-Nord, 2006, 291 p., <http://www.crecotenord.qc.ca/component/option,com_docman/task,cat_view/gid,33/Itemid,77/>, [consultation : 2 mai 2007].

(15) Bélanger, G., P. Rochette, Y. Castonguay et A. Bootsma. *Impact des changements climatiques sur les risques de dommages hivernaux aux plantes agricoles pérennes*, rapport remis au Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques. Ressources naturelles Canada, 2001.

(16) Agriculture et agroalimentaire Canada. *Monitoring Drought on the Canadian Agricultural Landscape*, Prairie Agroclimate Unit/National Agroclimate Information Service, Atelier agrométéorologique tenu les 9 et 10 décembre 2002 à Dorval (Québec), Agriculture et agroalimentaire Canada, 2002.

5 REMERCIEMENTS

RÉFÉRENCES

Bégin, Y. *Le changement climatique en cours dans le nord du Québec*, mémoire du Centre d'études nordiques déposé à la Commission parlementaire sur les transports et l'environnement, 2006, <http://www.assnat.qc.ca/fra/37legislature2/commissions/Cte/depot-rechauffement.html>, [consultation : 2 mai 2007]

Bélanger, D., P. Gosselin, P. Valois et B. Abdous. *Vagues de chaleur au Québec méridional : adaptations actuelles et suggestions d'adaptations futures*, Institut national de santé publique du Québec, 2006, <http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?E=p&NumPublication=538>, [consultation : 2 mai 2007].

Bélanger, G., P. Rochette, Y. Castonguay, A. Bootsma, D. Mongrain et D.A.J. Ryan. « Climate change and winter survival of perennial forage crops in Eastern Canada », *Agronomy Journal*, vol. 94, 2002, pp. 1120-1130.

Bergeron, Y., M. Flannigan, S. Gauthier, A. Leduc et P. Lefort. « Past, current and future fire frequency in the Canadian boreal forest: implications for sustainable forest management », *Ambio*, vol. 33, n° 6, 2004, pp. 356-360.

Bernatchez, P. et J.M.-M. Dubois. « Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien », *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 58, n° 1, 2004, pp. 45-71.

Bernatchez, P., et R. Leblanc. *Impacts morphosédimentologiques et écologiques du pied de glace sur un littoral subarctique : exemple du delta Manic-Outardes, estuaire maritime du Saint-Laurent*, Congrès de l'Association québécoise pour l'étude du Quaternaire, tenu du 22 au 27 août 2000 à Montréal (Québec) 2000.

Bernier, L., P. Lachance, L. Quilliam et D. Gingras. *Rapport sur l'état du Saint- Laurent – La contribution des activités urbaines à la détérioration du Saint-Laurent*, Équipe conjointe bilan, composée de représentants d'Environnement Canada, de Pêches et Océans Canada et du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Sainte-Foy (Québec), Rapport technique, 1998.

Bernier, P.Y. et D. Houle. *Les changements climatiques et la productivité forestière*, comptes-rendus du colloque Changements climatiques et foresterie : impacts et adaptation, tenu les 20 et 21 avril 2005 à Baie-Comeau (Québec) 2006

Besancenot, J.-P. « Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines », *Environnement, Risques et Santé*, vol 1, n° 4, 2004, pp 229-240.

Blanchard, D. et F. Pouliot. « Comment diminuer l'impact des températures chaudes durant l'été », *Pors, Québec*, vol. 14, n° 1, 2003, pp. 75-76.

Bootsma, A., D. Anderson et S. Gameda. *Indices potentiels du changement climatique sur les indices agroclimatiques dans les regions du sud de l'Ontario et du Québec*, Centre de techertches de lest sur les céréales et les oléagineux, Agriculture et agroalimentaire Canada Bulletin technique no 03-284, 2004, <http://res2.agr.gc.ca/ecorc/tb03284/index_f.htm>, [consultation : 2 mai 2007]

Bootsma, A., S. Gameda et D.W. McKenny. « Impacts of potential climate change on selected agroclimatic indices in Atlantic Canada », *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 85, 2005a, pp. 329-343.

Bootsma, A., S. Gameda et D.W. McKenny. « Potential impacts of climate change on corn, soybeans and barley yields in Atlantic Canada », *Revue canadienne de phytotechnie*, vol. 85, 2005b, pp. 345-357.

Booty, W., D. Lam, G. Bowen, O. Resler et L. Leon. « Modelling changes in stream water quality due to climate change in a southern Ontario watershed », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 30, n° 3, 2005, pp. 211-226.

Bouden, M., B. Moulin, P. Gosselin, C. Back, B. Doyon, D. Gingras et G. Lebel. « La géo-simulation de l'infection au virus du Nil occidental en fonction du climat : un outil de gestion du risque en santé publique », dans *S'adapter aux changements climatiques au Canada en 2005: comprendre les risques et renforcer nos capacités*, conférence du Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN) tenu du 4 au 7 mai 2005 à Montréal (Québec), 2005, <http://www.adaptation2005.ca/posters/bouden_f.html>, [consultation : 2 mai 2007]

Bourgault, D. Circulation and mixing in the St Lawrence Estuary, these de doctorat, Departments of Atmospheric and Oceanic Sciences et Centre for Climate and Global Change Research, Université McGill, Montréal (Québec), 2001, 127 p.

Bourgeois, G., A. Bourque et G. Deaudelin. « Modelling the impact of climate change on disease incidence: a bioclimatic challenge », *Revue canadienne de phytopathologie*, vol. 28, 2004, pp. 284-290.

Boutin, R. et G. Robitaille. « Increased soil nitrate losses under mature sugar maples affected by experimentally induced deep frost », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 25, 1995, pp. 588-602.

Boyer C., V. Bonduc, P. Biron, M. Lamothe, A.G. Roy et J. Morin. « Modélisation des effets des fluctuations du niveau d'eau du fleuve St-Laurent sur les assèchements des tributaires et le transport des sédiments », dans *Eau et changements climatiques: comprendre pour mieux s'adapter / Water and Climate Change : Knowledge For Better Adaptation*, 57e congrès annuel 2004 de l'Association canadienne des ressources hydriques, programme et résumés sur papier, comptes-rendus sur cédérom, 2004.

Bradshaw, B., H. Dolan et B. Smit. « Farm-Level Adaptation to Climatic Variability and Change: Crop Diversification in the Canadian Prairies », *Climatic Change*, vol. 67, 2004, pp. 119-141.

Breton, M.-C., M. Garneau, I. Fortier, F. Guay et J. Louise. « Relationship between climate, pollen concentrations of Ambrosia and medical consultations for allergy, Chaleur in Montreal, 1994–2002 », *Science of the Total Environment*, vol. 370, n° 1, 2006, pp. 39-50.

Brissette, F., R. Leconte, C. Marche et J. Rousselle. « Historical evolution of flooding damage in a USA/Quebec River Basin », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 39, n° 6, 2003, pp. 1385-1396.

Brodeur P., M. Mingelbier et J. Morin. « Impacts des variations hydrologiques sur les peuplements des marais aménagés du Saint-Laurent fluvial », *Naturaliste canadien*, vol. 128, n° 2, 2004, pp. 66-77.

Brodeur P., M. Mingelbier et J. Morin. « Impact de la régularisation du débit des Grands Lacs sur l'habitat de reproduction des poissons dans la plaine inondable du fleuve Saint-Laurent », *Naturaliste canadien*, vol. 130, n° 1, 2006, pp. 60-68.

Brooks, J.R., L.B. Flanagan et J.R. Ehleringer. « Responses of boreal conifers to climate fluctuations: indications from tree-ring widths and carbon isotope analyses », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 28, n° 4, 1998, pp. 524-533.

Bruce, J. *Analyse des répercussions d'une onde de tempête dans la région de Charlottetown à l'Île-du-Prince-Édouard*, Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile, 2003, 47 p., <http://www.ocipep.gc.ca/research/reactivites/natHaz/SAIC_2001D005_f.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Bryant, C.R., B. Singh, S. DesRoches, P. Thomassin, L. Baker, C. Madramootoo, K. Delusca et M. Savoie. *Climate variability and Quebec: lessons for farm adaptation from an analysis of the temporal and spatial patterns of crop insurance claims in Québec*, communication présentée au Congrès national sur l'adaptation aux changements climatiques, Montréal (Québec), mai 2005.

Bryant, C., B. Singh, P. Thomassin et L. Baker. *Vulnérabilités et adaptation aux changements climatiques au Québec au niveau de la ferme: leçons tirées de la gestion du risque et de l'adaptation à la variabilité climatique par les agriculteurs*, Ouranos, 2007, 49 p., <http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Bryant.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Budyko, M.I. « Climate and life », dans *International Geographic Series*, D.H. Miller (éd.), Academic Press, New York, New York, 1974, 508 p.

Bunce, J.A. « Carbon dioxide effects on stomatal responses to the environment and water use by crops under field conditions », *Oecologia*, vol. 140, 2004, pp. 1-10.

Caron, A. *Calibration et validation d'un générateur de climat dans le contexte des changements climatiques*, mémoire de maîtrise, École de technologie supérieure, 2005, 135 p.

Casselman, J.M. « Effects of temperature, global extremes, and climate change on year-class production of warmwater, coolwater, and coldwater fishes in the Great Lakes Basin », *American Fisheries Society Symposium*, vol. 32, 2002, pp. 39-60.

Cavey, J.F., E.R. Hoebeke, S. Passoa et S.W. Lingafelter. « A new exotic threat to North American hardwood forests: an Asian longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) (Coleoptera: Cerambycidae). I. Larval description and diagnosis », *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, vol. 100, n° 2, 1998, pp. 373-381.

Charron, D., C. Schuster-Wallace et D. Noble. *La vulnérabilité des Canadiens aux maladies d'origine hydrique et alimentaire*, 2005, <http://adaptation2005.ca/abstracts/charron_f.html>, [consultation : 2 mai 2007].

Chaumont, D. *Développement de scénarios climatiques à des fins de prévision de la demande énergétique au Québec pour les besoins de chauffage et de climatisation*, Ouranos, Rapport technique, 2005, 23 p., <http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Chaumont_energie.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Chaumont, D. et J. Chartier. *Développement de scénarios hydrologiques à des fins de modélisation de la dynamique sédimentaire des tributaires du Saint-Laurent dans un contexte de changements climatiques*, Ouranos, Rapport technique, 2005, 37 p.

Chin, J. *Control of communicable diseases in Man*, American Public Health Association, Washington, DC., 2000.

Chu, C., N.E. Mandrak et C.K. Minns. « Potential impacts of climate change on the distributions of several common and rare freshwater fishes in Canada », *Diversity & Distributions*, vol. 11, n° 4, 2005, pp. 299-310, doi: 10.1111/j.1366-9516.2005.00153.x.

Cohen, S. et K. Miller. « North America », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 735-800, <http://www.GIEC.ch/pub/reports.htm>, [consultation : 2 mai 2007].

Colombo, S.J. « Climatic warming and its effect on bud burst and risk of frost damage to white spruce in Canada », *The Forestry Chronicle*, vol. 74, n° 4, 1998, pp. 567-577.

Comité d'experts de l'érosion des berges de la Côte-Nord. *Évaluation du risque d'érosion du littoral de la Côte-Nord du Saint-Laurent (1996-2003)*, présenté au Comité interministériel sur l'érosion des berges de la Côte-Nord, 2006.

Commission de la santé et de la sécurité du travail. *Travailler à la chaleur - attention!*, Commission de la santé et de la sécurité du travail, 2004, <http://www.csst.qc.ca/portail/fr/publication/DC_100_1125_1.htm>, [consultation : 2 mai 2007].

Commission mixte internationale. *Avis aux gouvernements concernant l'examen de l'accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*, Commission mixte internationale, 2006, <http://www.ijc.org/rel/pdf/advicefinalfrwc.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Conseil canadien des ministres en environnement. De la source au robinet : guide d'application de l'approche à barrières multiples pour une eau saine, Conseil canadien des ministres en environnement, 2005a, <http://www.ccme.ca/sourcetotap/mba_fr.html>, [consultation : 2 mai 2007].

Conseil canadien des ministres en environnement. *Fiches d'information sur les contaminants*, Conseil canadien des ministres en environnement, 2005b, <http://www.ccme.ca/sourcetotap/infosheets_fr.html>, [consultation : 2 mai 2007.

Côté, D. et R. Gagnon. *Régression des forêts commerciales d'épinette noire (Picea mariana [Mill.] BSP.) à la suite de feux successifs*, actes du colloque « L'aménagement forestier et le feu » tenu les 9 et 10 avril 2002 à Chicoutimi (Québec), Ministère des Ressources naturelles, Direction de la conservation des forêts, 2002, 162 p.

Côté, M., J. Lachance, C. Lamontagne, M. Nastev, R. Plamondon et N. Roy. *Atlas du bassin versant de la rivière Châteauguay*, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, en collaboration étroite avec la Commission géologique du Canada et l'Institut national de la recherche scientifique-Eau, Terre et Environnement, 2006, 64p.

Croley, T.E. *Great Lakes Climate Change Hydrologic Assessment, I.J.C. Lake Ontario - St-Lawrence River Regulation Study*, National Oceanic and Atmospheric Administration, Technical Memorandum GLERL-126, 2003.

Dai, A., K.E. Trenbert et T. Qian. « A Global Dataset of Palmer drought severity index for 1870-2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming », *Journal of Hydrometeorology*, vol. 5, 2004, pp. 1117-1130.

Daigle, R., D. Forbes, L. Vasseur, S. Nichols, D. Bérubé, K. Thompson, H. Ritchie, A. Hanson, É. Tremblay, G. Parkes, K. Murphy et T. Webster. « Impacts de l'élévation du niveau de la mer et du changement climatique sur la zone côtière du sud-est du Nouveau-Brunswick », dans *S'adapter aux changements climatiques au Canada en 2005: comprendre les risques et renforcer nos capacités*, conférence tenue du 4 au 7 mai 2005 à Montréal (Québec) et parrainée par le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada et le Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN), 2005, <http://www.adaptation2005.ca/abstracts/daigle_f.html>, [consultation : 2 mai 2007].

Dajoz, R. *Précis d'écologie*, 7ème édition, Dunod, Paris, France, 2000, 615 p.

D'Arcy, P., J.-F. Bibeault et R. Raffa. *Changements climatiques et transport maritime sur le Saint-Laurent. Étude exploratoire d'options d'adaptation*, rapport rédigé pour le Comité de concertation navigation du Plan d'action Saint-Laurent, 2005, 140 p., <http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Final_Darcy.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Derocher, A.E., N.J. Lunn et I. Stirling. « Polar bear in a changing climate », *Integrative Comparative Biology*, vol. 44, 2004, pp. 163-176.

Déry, S. et E.F. « Wood decreasing river discharge in northern Canada », *Geophysical Research Letters*, vol. 32, 2005.

Desgranges, J.-L., J. Ingram, B. Drolet, J. Morin, C. Savage et D. Borcard. « Modeling the bird response to water level changes in the Lake Ontario - St. Lawrence River hydrosystem », *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 113, 2006, pp. 329-365.

Diaconesco, R., P. Gachon et A. St-Hilaire. *Analyse de la variabilité des vents dans le Golfe du Saint Laurent: tendances climatique et de nature non-climatique*, Ouranos, rapport de recherche, 2007.

Di Castri, F. et T. Younes (éd.). « Ecosystem function of Biological diversity », *Biology* International No 22, Special Issue, International Union of Biological Sciences, Paris, France, 1990.

Di Castri, F. et T. Younes. « Biodiversity, the emergence of a new scientific field – Its perspectives and constraints », dans *Biodiversity, Science and Development, Towards a New Partnership*, F. Di Castri et T. Younes (éd.), International Union of Biological Sciences CAB International, Wallingford, Royaume-Uni, 1996, pp. 1-11.

Dietrich, R.A. *Alaskan Wildlife Diseases*. Fairbanks, AK, Institute of Arctic Biology, University of Alaska, Fairbanks, Alaska, 1981.

Diffey, B. « Climate change, ozone depletion and the impact on ultraviolet exposure of human skin », *Physics in Medicine and Biology*, vol. 49, n° 1, 2004, pp. R1-11.

Direction de la santé publique de la Montérégie. *Plan d'urgence spécifique - « mesures accablantes ». édition 2004*, Direction de la santé publique de la Montérégie, version préliminaire, 2004.

Direction de la santé publique de Montréal. *Plan de mesures d'urgence : épisode de chaleur accablante 2004*, document-synthèse, Unité Santé au travail et environnementale, 2004.

Direction de santé publique de Québec. *Mémoire déposé au Bureau d'audiences publiques sur l'environnement sur le Projet de prolongement de l'axe du Vallon (ville de Québec)*, Direction de santé publique de Québec, 1er juin 2004, 29 p., <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/du_vallon/documents/DM65.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Direction de la santé publique. *Les souris sylvestres dans les chalets : un risque sérieux pour la santé*, Agence de développement de réseaux locaux de services de santé et de services sociaux de la Mauricie et du Centre-du-Québec., 2005, <http://www.agencesss04.qc.ca/communiques/2005/com1905051.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Dixsaut G. « Vague de chaleur et climatisation : revue bibliographique », *Bise*, vol. 16, n° 4, 2005, pp. 1-6.

Dolan, A.H. et L.J. Walker. « Understanding vulnerability of coastal communities to climate change related risks », dans *Proceedings of the 8th International Coastal Symposium, Brésil, Journal of Coastal Research*, no special 39, 2003, <http://www.cpicu.ca/English/aboutplan/nrcan/dolan.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Doré, G. et Y. Savard. « Vérification des méthodes de dimensionnement des chaussées au gel-dégel (coopération Québec-France) : suivi des comportements des planches d'essais après trois ans et cinq ans », dans *Répertoire des projets de recherche et développement*, Ministère des Transports du Québec, 2006.

Dost, F.N. « Acute toxicology of components of vegetation smoke », *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 119, 1991, pp. 1-46.

Doyon, B., D. Bélanger et P. Gosselin. *Effets du climat sur la mortalité au Québec méridional de 1981 à 1999 et simulations pour des scénarios climatiques futurs*, Institut national de santé publique du Québec, 2006, 75 p., <http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?E=p&NumPublication=538>, [consultation : 2 mai 2007].

Drake, B.G., M.A. Gonzalez-Meler et S.P. Long. « More efficient plant: a consequence of rising atmospheric CO_2? », Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, vol. 48, 1997, pp. 609-639.

Dubois, J.-M.-M. *Dynamique de l'érosion littorale sur la Côte-Nord du Saint-Laurent*, comptes-rendus du Colloque régional sur l'érosion des berges : vers une gestion intégrée des interventions en milieu marin, Comité de la zone d'intervention prioritaire de la rive nord de l'estuaire, Baie-Comeau (Québec), MRC de Manicouagan (éd.), 1999.

Dubois, J.M., P. Bernatchez, J.-D. Bouchard, B. Daigneault, D. Cayer et S. Dugas. *Évaluation du risque d'érosion du littoral de la Côte Nord du St-Laurent pour la période de 1996 à 2003*.

Conférence régionale des élus de la Côte-Nord, rapport présenté au Comité interministériel sur l'érosion des berges de la Côte-Nord, 2006, 291 p., <http://www.crecotenord.qc.ca/component/option,com_docman/task,cat_view/gid,33/Itemid,77/>, [consultation : 2 mai 2007].

Ducas, S. « Conférence sur le plan d'urbanisme de la Ville de Montréal », dans *8e Journées annuelles de la santé publique*, 30 novembre 2004

Duchesne, S., A. Mailhot et E. Levesque. « Impacts et adaptations liés aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec: évaluation de la performance historique des réseaux », dans *S'adapter aux changements climatiques au Canada en 2005: comprendre les risques et renforcer nos capacités*, conférence tenue du 4 au 7 mai 2005 à Montréal (Québec) et parrainée par le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada et le Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN), 2005.

Duguay, C.R., T.D. Prowse, B.R. Bonsal, R.D. Brown, M.P. Lacroix et P. Ménard. « Recent trends in Canadian lake ice cover », *Hydrological Processes*, vol. 20, 2006, pp. 781-801.

Edwards, M. et A. Richardson. « Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch, *Nature*, vol. 2808, 2004, 3 p.

Enright, W. *Changement d'habitudes, changement climatique : analyse de base*, Institut canadien de la santé infantile, 2001, 129 p.

Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, 2005, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/grandslacs/2005/Entente.pdf>, [consultation May 2, 2007].

Environnement Canada. *Normales climatiques au Canada (Québec) 1961-90*, Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, 1993.

Environnement Canada. « Impacts et adaptation à la variabilité et au changement du climat au Québec », dans *L'Étude pancanadienne: impacts et adaptation au climat*, Environnement Canada, volume 5, 1997.

Environnement Canada. *Les dix principaux événements météorologiques canadiens de 2000*, Environnement Canada, 2002, <http://www.msc.ec.gc.ca/media/top10/2000_f.html>, [consultation : 2 mai 2007].

Environnement Canada. *Avertissements météo publics pour le Canada*, Environnement Canada, 2004a, <http://www.weatheroffice.ec.gc.ca/warnings/warnings_f.html>, [consultation : 2 mai 2007].

Environnement Canada. *Fiche d'information sur le Smog*, Environnement Canada, 2004b, <http://www.msc.ec.gc.ca/cd/factsheets/smog/index_f.cfm>, [consultation : 2 mai 2007].

Environnement Canada. *Palmarès météo Québec*, Environnement Canada, 2005, <http://www.on.ec.gc.ca/weather/winners/weather-honours-f.html>, [consultation : 2 mai 2007].

Environnement Canada. *Atlas des vents*, Environnement Canada, 2007a, <http://www.atlaseolien.ca/fr/maps.php>, [consultation : 2 mai 2007].

Environnement Canada. *Atlas des glaces*. Environnement Canada, 2007b, <http://ice-glaces.ec.gc.ca/>, [consultation : 2 mai 2007].

Fagherazzi, L., R. Guay et T. Sassi. *Climate Change analysis of the Ottawa River System*, rapport remis à la Commission mixte internationale – Lake Ontario-St. Lawrence River study on discharge regulation, 2005, 72 p.

Flanagan, K., E. McCauley, F. Wrona et T. Prowse. « Climate change: the potential for latitudinal effects on algal biomass in aquatic ecosystems », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 60, 2003, pp. 635-639.

Flannigan, M., I. Campbell, M. Wotton, C. Carcaillet, P. Richard et Y. Bergeron. « Future fire in Canada's boreal forest: paleoecology results and General Circulation Model - Regional climate model simulations », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 31, 2001, pp. 854-864.

Flannigan, M., K. Logan, B. Amiro, W. Skinner et B. Stocks. « Future area burned in Canada », Climatic Change, vol. 72, n° 1-2, 2005, pp. 1-16.

Forbes, D.L., J. Shaw et R.B. Taylor. « Impact et adaptation a la variabilité et au changement du climat à l'Atlantique », dans *L'Etude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*, J. Abraham, T. Canavan et R. Shaw (éd.), Environnement Canada, vol. 6, 1997, pp. 51-66.

Forbes, D.L., G.S. Parkes, G.K. Manson et L.A. Ketch. « Storms and shoreline retreat in the southern Gulf of St. Lawrence », *Marine Geology*, vol. 210, 2004, pp. 169-204.

Forget, D. « Découvrir Ouranos : climat, les experts à l'œuvre », dans 75e congrès de l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences, *Découvrir*, vol. 28, n° 3, 2007, p. 36, <http://www.acfas.ca/decouvrir/v28-3/som.html>.

Forget, E. et R. Drever. *Changements climatiques : impacts sur les forêts québécoises – Revue de littérature*, Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue, 2003, 65 p.

Fortier, R., et M. Allard. *Problématique du développement du village de Salluit, Nunavik. Rapport d'étape 2. Conditions du pergélisol et mollisol*, comptes rendus des campagnes de terrain été 2002 et hiver 2003, Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec, (Québec), 2003a.

Fortier, R. et M. Allard. *Les impacts d'un réchauffement récent sur le pergélisol au Nunavik*, présentation faite en décembre 2003 au 24e colloque annuel du Centre d'études nordiques, 2003b.

Fortin, L.G., R. Turcotte, S. Pugin, J.F. Cyr et F. Picard. « Impact des changements climatiques sur les plans de gestion des réservoirs Saint-François et Aylmer au Sud du Québec », *Revue canadienne de génie civil*, vol. 34, n° 8, 2007, pp. 934-945.

Frenette, J.-J., M. Arts et J. Morin. « Spectral gradient of downwelling light in a fluvial lake (Lake Saint –Pierre, St. Lawrence River) », *Aquatic Ecology*, vol. 37, 2003, pp. 77-85.

Frenette, J.-J., M. Arts, J. Morin, D. Gratton et C. Martin. « Hydrodynamic control of the underwater light climate in fluvial Lac Saint-Pierre, *Limnology and Oceanography*, vol. 51, 2006, pp. 2632-2645.

Frigon, M. *L'entretien du réseau routier québécois : une industrie comprenant plusieurs acteurs*, Magazine Circuit Industriel, juin 2003, <http://www.magazinemci.com/articles/dossiers/2003/06/quebec7.htm>, [consultation : 2 mai 2007].

Furgal, C. et J. Seguin. « Climate Change Health Impacts, Vulnerabilities and the Capacity to Respond in Canadian Northern Aboriginal Communities », dans *S'adapter aux changements climatiques au Canada en 2005: comprendre les risques et renforcer nos capacités*, conférence tenue du 4 au 7 mai 2005 à Montréal (Québec) et parrainée par le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada et le Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN), 2005.

Furgal, C.M., D. Martin, P. Gosselin et A. Viau. *Climate change and health in Nunavik and Labrador: what we know from science and Inuit knowledge*, Nunavik Regional Board of Health and Social Services/Nunavik Nutrition and Health Committee, Labrador Inuit Association, Labrador Inuit Health Commission, rapport scientifique final d'un projet subventionné par le Fonds d'action pour le changement climatique, 2002, 139 p.

Gachon, P., A. St-Hilaire, T. Ouarda, V.T.V. Nguyen, C. Lin, J. Milton, D. Chaumont, J. Goldstein, M. Hessami, T.-D. Nguyen, F. Selva, M. Nadeau, P. Roy, D. Parishkura, N. Major, M. Choux et A. Bourque. *A first evaluation of the strength and weaknesses of statistical downscaling methods for simulating extremes over various regions of eastern Canada*, rapport final rédigé pour le Fond d'action pour le changement climatique, Ouranos, 2005, 234 p., <http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/GACHON%20ET%20AL.%20CCAF-SVE17.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Gagnon, R. *Les bases écologiques de fonctionnement des forêts commerciales d'épinette noire du Saguenay–Lac-Saint-Jean–Chibougamau-Chapais (Québec), vers un aménagement forestier durable*, Laboratoire d'écologie végétale, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi (Québec), 1998, 27 p.

Gamache, I. et S. Payette. « Height growth response of tree line black spruce to recent climate warming across the forest-tundra of eastern Canada », *Journal of Ecology*, vol. 92, 2004, pp. 835-845.

Gamache, I. et S. Payette. « Latitudinal response of subarctic tree lines to recent climate change in eastern Canada », *Journal of Biogeography*, vol. 32, 2005, pp. 849-862.

Garneau, M., M.C. Breton, F. Guay, I. Fortier, M.F. Sottile et D. Chaumont. *Hausse des concentrations des particules organiques (pollen) causée par le changement climatique et ses conséquences sur les maladies respiratoires des populations vulnérables en milieu urbain*, Fonds d'action pour le changement climatique – sous-composante Impacts et Adaptation, Projet A571, 2006, 133 p. <http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Garneau.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Génot, J.C. et R. Barbault. « Quelle politique de conservation? », dans *Biodiversité et changements globaux enjeux de société et défis pour la recherche*, R. Barbault et B. Chevassus-au-Louis, Association pour la diffusion de la pensée française, 2005, pp. 162-191.

Gerardin, V., J.-P. Dubruc et P. Beauchesne. « Planification du réseau d'aires protégées du Québec : principes et méthodes de l'analyse écologique du territoire », Ministère de l'Environnement, Direction du patrimoine écologique et du développement durable, *Vertigo*, vol. 3, n° 1, 2002, 10 p.

Gielen, B. et R. Ceulemans. « The likely impact of rising atmospheric CO_2 on natural and *managed Populus*: a literature review », Environmental Pollution, vol. 115, 2001, pp. 335-358.

Giguere, M. et P. Gosselin. *Impacts des événements climatiques extrêmes sur la santé : examen des initiatives d'adaptation actuelles au Québec*, Institut national de santé publique du Québec, 2006a, 27 p., <http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?E=p&NumPublication=538>, [consultation : 2 mai 2007].

Giguere, M. et P. Gosselin. *Les impacts du changement climatique sur l'émergence et l'intensification des maladies zoonotiques et des maladies à transmission vectorielle au Québec : examen des initiatives d'adaptation actuelles*, Institut national de santé publique du Québec, 2006b, 27 p., <http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?E=p&NumPublication=538>, [consultation : 2 mai 2007].

Giguere, M. et P. Gosselin. *Les impacts du changement climatique sur les ressources hydriques et ses conséquences sur la santé, examen des initiatives d'adaptation actuelles au Québec*, Institut national de santé publique du Québec, 2006c, <http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?E=p&NumPublication=538>, [consultation : 2 mai 2007].

Giguere, M. et P. Gosselin. *Les impacts des vagues de chaleur et de l'effet d'îlot thermique urbain sur la santé : examen des initiatives d'adaptation actuelles au Québec*, Institut national de santé publique du Québec, 2006d, <http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?E=p&NumPublication=538>, [consultation : 2 mai 2007].

Giguère, S., J. Morin, P. Laporte et M. Mingelbier. « Évaluation des impacts des fluctuations hydrologiques sur les espèces en péril, tronçon fluvial du Saint-Laurent (Cornwall à Trois-Rivières) », dans *Étude internationale sur le lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent*, rapport final rédigé pour la Commission mixte internationale, Environnement Canada, Service canadien de la faune et Service météorologique du Canada et Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Direction de la recherche sur la faune, 2005, 71 p.

Gillett, N.P., F.W. Zwiers, A.J. Weaver et P.A. Stott. « Detection of human influence on sea-level pressure », *Nature*, vol. 422, 2003, pp. 292-294.

Gitay, H., S. Brown, W. Easterling et B. Jallow. « Ecosystems and their goods and services », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, New York, New York, 2001, pp. 735-800, - http://www.GIEC.ch/pub/reports.htm>, [consultation : 2 mai 2007].

Godbout, L., P. Fortin, M. Arseneau et S. St-Cerny. *Oser choisir maintenant. Des pistes de solutions pour protéger les services publics et assurer l'équité entre les générations*, Presses universitaires Laval, Québec (Québec), 2007, 150 p.

Goldblum, D. L.S. Rigg. « Tree growth response to climate change at the deciduous-boreal forest ecotone, Ontario, Canada », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 35, n° 11, 2005, pp. 2709-2718.

Gosselin P. *Développement d'un outil Web interactif pour mieux comprendre les impacts des changements climatiques sur la santé publique*, Projet GEOIDE Initiative stratégique, 2005, <http://www.geoide.ulaval.ca/files/41_F.jpg>, [consultation : 2 mai 2007].

Gosselin, P. *Surveillance and Management of Climate Change Impacts in the North: Implications for Northern Public Health Policy and Infrastructure*, ArcticNet, 2006 <http://www.arctic.net-ulaval.ca/index.php?fa=%c9earchHome.showThemeProjects&theme=14&project_id=24>, [consultation : 2 mai 2007].

Gosselin P., G. Lebel, S. Rivest et M. Douville-Fradet. « The Integrated System for Public Health Monitoring of West Nile Virus (ISPHM-WNV): a Real-time GIS for Surveillance and Decision-Making », *International Journal of Health Geographics*, 2005, <http://www.ij-healthgeographics.com/content/4/1/21>.

Goulet, L., C. Christin et É. Hudon. *Prévalence et gravité des symptômes d'allergie respiratoire chez les résidants de l'Île de Montréal*, Direction de la santé publique de Montréal-Centre, Régie régionale de la santé et des services sociaux de Montréal-Centre, 1996, 20 p.

Gouvernement du Québec. « L'eau, la vie, l'avenir », dans *Politique nationale de l'eau*, Gouvernement du Québec, 2002, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/politique/politique-integral.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Gouvernement du Québec. *Cartographie des zones exposées aux glissements de terrain dans les dépôts meubles. Guide d'utilisation des cartes de zones de contraintes et d'application du cadre normatif - Saguenay-Lac-Saint-Jean*, Gouvernement du Québec, 2005, <http://www.msp.gouv.qc.ca/secivile/publications/glissements_terrain/glissements_terrain_2.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Gouvernement du Québec. *Le Québec et les changements climatiques, un défi pour l'avenir. Plan d'actions 2006-2012*, Gouvernement du Québec, 2006a, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/plan_action/2006-2012_fr.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Gouvernement du Québec. *Politique québécoise du transport collectif*, Gouvernement du Québec, 2006b, <http://www.mtq.gouv.qc.ca/fr/modes/personnes/polit_collectif2006.asp>, [consultation : 2 mai 2007].

Gouvernement du Québec. *Cadre de prévention des risques naturels*, Gouvernement du Québec, 2006c, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/infuseur/communique.asp?no=1029>, [consultation : 2 mai 2007].

Groisman, P.Y., B. Sun, R.S. Vose, J.H. Lawrimore, P.H. Whitfield, E. Forland, I. Hanssen-Bauer, M.C. Serreze, V.N. Razuvaev et G.V. Alekseev. *Contemporary climate changes in high latitudes of the northern hemisphere: daily time resolution*, 83e rencontre annuelle de la American Meteorology Society à Long Beach, Californie, 2003.

Grondin, G. et A. Guimond. « Impact du dégel du pergélisol sur les infrastructures de transport aérien et routier du ministère des Transports du Québec au Nunavik », *Route-Roads*, vol. 326, pp. 42-49, 2005.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Résumé à l'intention des décideurs », dans *Bilan 2001 des changements climatiques : les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge,Royaume-Uni et New York, New York, 2001a, pp. 1-20.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. *Bilan 2001 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité*, contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge,Royaume-Uni et New York (New York), 2001b, 1032 p.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. *Les changements climatiques et la biodiversité*, Document technique V du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, H. Gitay, A. Suarez, R.T. Watson et D.J. Dokken (éd.), Genève, Suisse, 2002, 75p.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for Policymakers », dans *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignot et H.L. Miller (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007, 18 p.

Guillemette, F., A.P. Plamondon et D. Lesvesques. *Effets de la coupe sur le bilan hydrologique, Bassin expérimental du ruisseau des Eaux-Volées (BEREV)*, Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval, Québec (Québec), 1999.

Harvell, C.D., C.E. Mitchell, J.R. Ward, S. Altizer, A.P. Dobson, R.S. Ostfeld et M.D. Samuel. « Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota », *Science*, vol. 296, 2002, pp. 2158–2162.

Hatfield, J. L. et J.H. Prueger. « Impacts of changing precipitation patterns on water quality », *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 59, n° 1, 2004.

Hauer, F.R., J.S. Baron, D.H. Campbell, K.D. Fausch, S.W. Hostetler, G.H. Leavesley, P.R. Leavitt, D.M. McKnight et J.A. Stanford. « Assessment of climate change and freshwater ecosystems of the Rocky Mountains, USA and Canada », *Hydrological Processes*, vol. 11, n° 8, 1997, pp. 903–924.

Hersteinsson, P. et D.W. MacDonald. « Interspecific competition and the geographical distribution of red and arctic foxes Vulpes vulpes and Alopex lagopus », *Oikos*, vol. 64, 1992, pp. 505-515.

Hesslein, R. H., M.A. Turner, S.E.M. Kasian et D. Guss. *The potential for climate change to interact with the recovery of Boreal lakes from acidification – a preliminary investigation using ELA's database*, rapport préparé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, 2001.

Higuchi, K., C.W. Yuen et A. Shabbar. « Ice Storm '98 in Southcentral Canada and northeastern United States: A climatological perspective », *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 66, n° 1-2, 2000, pp. 61-79.

Hill, D., V. White, R. Marks, T. Theobald, R. Borland et C. Roy. « Melanoma prevention: behavioral and nonbehavioral factors in sunburn among an Australian urban population », *Preventive Medicine*, vol. 21, n° 5, 1992, pp. 654-69.

Hooper, M.C., K. Arii et M.J. Lechowicz. « Impact of a major ice storm on an old-growth hardwood forest », *Revue canadienne de botanique*, vol. 79, n° 1, 2001, pp. 70-75.

House, J. et V. Brovkin. « Climate and air quality », dans *Ecosystems and Human Well-being: Current states and Trends, Volume 1*, R. Hassan, H. Scholes et N. Ash (éd.), Island Press, 2005, pp. 355-390, <http://www.millenniumassessment.org/en/Products.Global.Condition.aspx>, [consultation : 2 mai 2007].

Hudon, C. *Le lac St-Louis est-il à risque? Les niveaux d'eau et l'eau potable*, Environnement Canada, 2004, <http://www.qc.ec.gc.ca/csl/inf/inf040_f.html>, [consultation : 2 mai 2007].

Hudon, C., P. Gagnon, J.-P. Amyot, G. Létourneau, M. Jean, C. Plante, D. Rioux et M. Deschênes. « Historical changes in herbaceous wetland distribution induced by hydrological conditions in Lake Saint-Pierre (St. Lawrence River, Quebec, Canada) », *Hydrobiologia*, vol. 539, 2005, pp. 205-224.

Huggins K., J.-J. Frenette et M.T. Arts. « Nutritional quality of biofilms with respect to light regime in Lake Saint-Pierre (Québec, Canada) », *Freshwater Biology*, vol. 49, 2004, pp. 945-959.

Hydro-Québec. *Plan stratégique 2006-2010*, Hydro-Québec, 2006, <http://www.hydroquebec.com/publications/fr/plan_strategique/2006-2010/pdf/complet.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Infrastructure Canada. *L'évaluation des besoins en infrastructure du Canada: une analyse d'études clés*, Infrastructure Canada, 2004, 14 p.

Infrastructure Canada. *L'adaptation des infrastructures du Canada aux changements climatiques dans les villes et les collectivités: une analyse documentaire*, Infrastructure Canada, 2006, <http://www.infrastructure.gc.ca/research-recherche/result/studies-rapports/rs14_f.shtml>, [consultation : 2 mai 2007].

Institut canadien des ingénieurs. *Conférence sur les changements climatiques 2006*, Institut canadien des ingénieurs, 2006, <http://www.ccc2006.ca/>, [consultation : 2 mai 2007].

Institut de la statistique du Québec. *Le portrait de santé : le Québec et ses régions. Perspectives démographiques du Québec 1996-2041, régions administratives, régions métropolitaines et municipalités régionales de comté, édition 2000*. Institut de la statistique du Québec, 2000, <http://ivt.crepuq.qc.ca/isq/francais/pdq/2000/#ra>, [consultation : 2 mai 2007].

Institut de la statistique du Québec. *Perspectives démographiques, Québec et régions, 2001-2051, édition 2003*, Institut de la statistique du Québec, 2003, <http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/societe/demographie/persp_poplt/pers2001-2051/index.htm>, [consultation : 3 mai 2007].

Institut de la statistique du Québec. *Données démographiques régionales*, Institut de la statistique du Québec, 2004, <http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/societe/demographie/dons_regnl/regional/index.htm>.

Institut de prévention des sinistres catastrophiques. *Tempêtes hivernales*, Institut de prévention des sinistres catastrophiques, 2005, <http://www.iclr.org/french/hazards/tempete.htm>, [consultation : 25 mars 2005].

Institut de recherche forestière de l'Ontario. *A Synopsis of Known and Potential Diseases and Parasites Associated with Climate Change*, Forest Research Information Paper no. 154,

Institut de recherche forestière de l'Ontario, Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, 2003, 185 p.

Institut national de recherche sur les eaux. *Threats to Water Availability in Canada*, atelier de l'Institut national de recherche sur les eaux organisé en 2002 à Victoria (Colombie-Britannique), 2004.

Institut national de santé publique du Québec. *Les pneus hors d'usage et le risque de transmission de maladies infectieuses par les moustiques* (résumé), Institut national de santé publique du Québec, 2003a, <http://www.inspq.qc.ca/publications/environnement/doc/text7.asp?E=p/>, [consultation : 2 mai 2007].

Institut national de santé publique du Québec. *Virus du Nil Occidental : évaluation des attitudes, des comportements et des connaissances populaires*, *Institut national de santé publique du Québec*, 2003b, <http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/403-PlanGlobalInterventionVNO.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Institut national de santé publique du Québec. *Mesures individuelles et collectives pour prévenir la transmission du virus du Nil occidental - Éléments pour un plan global d'intervention*, Institut national de santé publique du Québec, 2005a, <http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?E=p&NumPublication=403/>, [consultation : 2 mai 2007].

Institut national de santé publique du Québec. *Épidémiologie et effets de l'infection par le virus du Nil occidental sur la santé humaine - Mise à jour 2004*, Institut national de santé publique du Québec, 2005b, <http://www.inspq.qc.ca/publications/default.asp?Titre=&NumPublication=&Theme=34&Auteur=&ISBN=&Annee=0&Type=0&Direction=0&Unite=0&E=p/>, [consultation : 2 mai 2007].

Institut national de santé publique du Québec. *Portrait de santé du Québec et de ses régions 2006. Les analyses*, Institut national de santé publique du Québec, 2006, 131 p., <http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/portrait_de_sante.asp?E=p>, [consultation : 2 mai 2007].

Institut national du cancer du Canada. *Statistiques canadiennes sur le cancer 2005*, Société canadienne du cancer et Institut national du cancer du Canada, Toronto (Ontario), 2005.

Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. *Changements climatiques : impacts sur les forêts québécoises*, Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue, Revue de littérature, 2003, 48 p.

Jackson, D.A. et N.E. Mandrak. « Changing fish biodiversity: predicting the loss of cyprinid biodiversity due to global climate change », dans *Fisheries in a Changing Climate*, N.A. McGinn (éd.), American Fisheries Society, 2002, 319 p.

Jasinski, J.P. et S. Payette. « The creation of alternative stable states in the southern boreal forest, Quebec, Canada », *Ecological Monographs*, vol. 75, n° 4, 2005, pp. 561-583.

Jean, M., G. Létourneau, C. Lavoie et F. Delisle. « Les milieux humides et les plantes exotiques en eau douce », fiche d'information dans *Suivi de l'état du Saint-Laurent*, Environnement Canada — Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent et Centre de recherche en aménagement et développement de l'Université Laval, 2002, 8 p.

Johnston, M. et T. Williamson. « Climate change implications for stand yields and soil expectation values: A northern Saskatchewan case study », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, n° 5, 2005, pp. 683-690.

Jones, B. et D. Scott. Climate Change, Seasonality and Visitation to Canada's National Parks. *Journal of Parks and Recreation Administration*, vol. 23, n° 4, 2005.

Jones, I., P.J. Doran et R.T. Holmes. « Climate and food synchronize regional forest birds' abundance », Ecology, vol. 84, n° 11, 2003, pp. 3024-3032.

Kalkstein, L. et J. Green. « An evaluation of Climate/Mortality Relationship in Large U.S. Cities and the Possible Impacts of a Climate Change », *Environmental Health Perspectives*, vol. 105, 1997, pp. 84-93.

Keatinge W.R., G.C. Donaldson, E. Cordioli, M. Martinelli, A.E. Kunst, J.P. Mackenbach, S. Nayha et I. Vuori. « Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study », *British Medical Journal*, vol. 321, n° 7262, 2000, pp. 670-673.

Kennedy, V.S., R.R. Twilley, J.A. Kleypas, J.H. Cowan, Jr. et S.R. Hare. *Coastal and marine ecosystems and global climate change: potential effects on U.S. resources*, rapport rédigé pour le Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginie, 2002, 52 p.

King, N., P. Morency et L. Lapierre. « Les impacts du transport sur la santé publique », dans *Rapport synthèse : faits saillants des principaux travaux de la Direction*, Direction de santé publique de Montréal, vol. 8, n° 3, 2005, <http://www.santepub-mtl.qc.ca/Publication/synthese/rapv8n3.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Kirschbaum, M.U.F. « Forest growth and species distribution in a changing climate », *Tree Physiology*, vol. 20, 2000, pp. 309-322.

Klein, R.J., T. Nicholls, R.S. Ragoonaden, M. Capobianco, J. Aston et E.N. Buckley. « Technological options for adaptation to climate change in coastal zones », *Journal of Coastal Research*, vol. 17, n° 3, 2001, pp. 531-543.

Klinenberg, E. *A social autopsy of disaster in Chicago: heat wave*, The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, 2002, 305p.

Kling, G. W., K. Hayhoe, L.B. Johnson, J.J. Magnuson, S. Polasky, S.K. Robinson, B.J. Shuter, M.M. Wander, D.J. Wuebbles et D.R. Zak . Confronting climate change in the Great Lakes Region, impacts on our communities and ecosystems, The Union of Concerned Scientists et The Ecological Society of America, 2003, 104 p.

Kosatsky, T., Y. Baudoin et J. Milton. *Identification des secteurs vulnérables à la chaleur intense dans une métropole canadienne en vue d'interventions et d'études ciblées en santé publique*, Projet Ouranos, 2005a, <http://www.ouranos.ca/programmation/ilots_chaleur_f.html>, [consultation : 2 mai 2007].

Kosatsky, T., N. King et B. Henry. *How Toronto and Montreal respond to heat*, Extreme Weather Events and Public Health Responses, 2005b, pp. 167-171.

La Financière agricole du Québec. *Statistiques annuelles. Assurance récolte*, La Financière agricole du Québec, 2006, <http://www.fadq.qc.ca/index.php?id=826>, [consultation : 2 mai 2007].

Lafortune, V., C. Furgal, E. Angiyou, T. Annanack, N. Einish, B. Etiddloie, P. Tookalook et J.-P. Savard. « Adapting to Climate Change in Nunavik and Northern Québec: Using Traditional and Scientific Knowledge to Enhance Local Capacity and Cope With Changing Ice Conditions », dans *S'adapter aux changements climatiques au Canada en 2005: comprendre les risques et renforcer nos capacités*, conférence tenue du 4 au 7 mai 2005 à Montréal (Québec) et parrainée par le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada et le Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN), 2005.

Lafrance, G. et C. Desjarlais. *Impact socio-économique du changement climatique sur la demande d'énergie*, rapport de recherche, Ouranos, 2006, 79 p., <http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Lafrance.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Lambert, S. « Changes in winter cyclone frequencies and strengths in transient enhanced greenhouse warming simulations using two coupled climate models », *Atmosphere-Ocean*, vol. 42, n° 3, 2004, pp. 173-181.

Laplante, D.P., R.G. Barr, A. Brunet, G. Galbaud du Fort, M.L. Meaney, J.F. Saucier, P.R. Zelazo et S. King. « Stress during pregnancy affects general intellectual and language functioning in human toddlers », *Pediatric Research*, vol. 56, n° 3, 2004, pp. 400-410.

Lauzon, V. et A. Bourque. *L'impact des changements climatiques sur le cycle de l'eau et ses usagers dans le bassin versant de la Châteauguay*, affiche au Symposium Ouranos, 2004, <http://www.ouranos.ca/symposium/resume_PDF/lauzon.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Lawrence, D.M. et A.G. Slater. « A projection of severe near surface permafrost degradation during the 21st Century », *Geophysical Research Letters*, vol. 32, n° 17, 2005.

Lebuis, J., J.-M. Robert et P. Rissmann. *Regional Mapping of landslide hazard in Quebec. Symposium on slopes on soft clays*, Institut géotechnique de Suède, Linkoping, Suède, Rapport no 17, 1983.

Leclerc, M., P. Boudreau, N. Roy, Y. Secretan, S. El Adlouni, T. Ouarda, D. Chaumont, I. Falardeau et F. Morneau. *Contribution à la recherche d'une solution intégrée au risque d'inondation à Châteauguay*, rapport commandé par la Ville de Châteauguay, en collaboration avec le ministère de la Sécurité publique du Québec, Rapport de recherche #R841, 2006, 280 p.

Lefaivre, D. *Effet des changements climatiques sur les niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent entre Montréal et Québec, Projections pour les années 2050*, rapport préparé pour le Comité de concertation Navigation Plan d'Action Saint-Laurent Phase 4, Institut Maurice-Lamontagne, Direction des Sciences océaniques, 2005, 34 p.

Lehoux, D., D. Dauphin, P. Laporte, J. Morin et O. Champoux. *Recommendation of water plans and final management criteria less detrimental to breeding and migrating waterfowl along the St. Lawrence River within the Lake St. Louis and the Lake St. Pierre area*, rapport final remis à Environnement Canada, 2005, 22 p.

Lemmen, D.S. et F.J. Warren. *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne*, Gouvernement du Canada, 2004, 190 p. <http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/index_f.php>, [consultation : 2 mai 2007].

Le Québec géographique. *Site Internet*, Le Québec géographique, 2006, <http://www.quebecgeographique.gouv.qc.ca/>, [consultation : 2 mai 2007].

Logan, J.A., J. Régniere et J.A. Powell. « Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics », *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 1, n° 3, 2003, pp. 130-137.

Luckman, B. et T. Kavanagh. « Impact of climate fluctuations on mountain environments in the Canadian Rockies », *Ambio*, vol. 29, n° 7, 2000, pp. 371-380.

Madramootoo, C.A., T.G. Helwing et G.T. Dodds. « Managing water tables to improve drainage water quality in Quebec, Canada », *Transactions of the American Society Agricultural Engineers*, vol. 44, n° 6, 2001, pp. 1511-1519.

Mailhot, A. et S. Duchesne. « Impacts et enjeux liés aux changements climatiques en matière de gestion des eaux en milieu urbain », dans L'eau dans les Amériques: enjeu de confrontation, de coopération ou de solidarité ?, colloque tenu les 14 et 15 octobre 2004 à l'Université Laval, Québec (Québec), *Vertigo*, numéro spécial, 2005, <http://www.vertigo.uquam.ca>.

Mailhot, A., A.N. Rousseau, B. Lacroix-Vachon, E. Nantel et J.-P. Villeneuve. « Approvisionnement en eau au Québec : cartographie des sites et estimation des volumes d'eau de surface prélevés alimentant les réseaux d'aqueduc municipaux », dans *Eau et changement climatique: comprendre pour mieux s'adapter*, 57e Congrès annuel de l'Association canadienne des ressources hydriques tenu du 16 au 18 juin 2004 à Montréal (Québec), 2004.

Mailhot, A., G. Rivard, S. Duchesne et J.-P. Villeneuve. *Impacts et adaptation aux changements climatiques en matière de drainage urbain au Québec*, Institut national de recherche scientifique-Eau, Terre et Environnement, 2007, 144 p., <http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Mailhot.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Mareuil, A. *Impacts des changements climatiques sur les crues extrêmes des rivières: cas de la rivière Châteauguay*, mémoire de maîtrise, École de technologie supérieure, Montréal (Québec), 2005, 125 p.

Martin, C., J.-J. Frenette et J. Morin. « Changes in the spectral and chemical properties of a water mass passing through extensive macrophyte beds in a large fluvial lake (Lake Saint-Pierre, Québec, Canada) », *Aquatic Sciences*, vol. 67, 2005a, pp. 196-209.

Martin, D., D. Bélanger, P. Gosselin, J. Brazeau, C. Furgal et S. Déry. *Les changements climatiques, l'eau potable et la santé humaine au Nunavik : stratégies d'adaptation*, rapport préparé pour le Fonds d'action pour le changement climatique, Projet A563, 2005b, 80 p.

Martin, D., B. Lévesque, J.S. Maguire, A. Maheux, C. Furgal, J.L. Bernier et E. Dewailly. *Drinking water quality in Nunavik: Health impacts in a climate change context*, rapport final du projet subventionné par ArcticNet et ACADRE (Nasivvik), 2005c, 87 p.

McCabe G.J., M.P. Clark et M.C. Serreze. « Trends in northern hemisphere surface cyclone frequency and intensity », *American Meteorological Society*, vol. 14, n° 12, 2001, pp. 2763-2768.

McCarty, J.P. « Ecological consequences of recent climate change », *Conservation Biology*, vol. 15, v 2, 2001, pp. 320-331.

McCulloch, M.M., D.L. Forbes et R.W. Shaw. *Coastal Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise on Prince Edward Island*, Commission géologique du Canada, Dossier public 4261, Fonds d'action pour le changement climatique, Projet A041, 2002.

McMichael, A.J., D.H. Campbell-Lendrum, C.F. Corvalan, K.L. Ebi, A. Githeko, J.D. Scheraga et A. Woodward. *Climate change and human health: Risk and responses*, Organisation mondiale de la santé, Organisation météorologique mondiale et Programme des Nations Unies pour l'environnement, Genève, Suisse, 2003, 322 p.

Menzel, A. et P. Fabian. « Growing season extended in Europe », *Nature*, vol. 397, 1999, p. 659.

Milewska, E. J. « Baseline Cloudiness Trends in Canada 1953-2002 », *Atmosphere- Ocean*, vol. 42, n° 4, 2004, pp. 267-280.

Milton, J. et A. Bourque. *Compte-rendu de la tempête de verglas de janvier 1998 au Québec*, Division des sciences atmosphériques et enjeux environnementaux, Environnement Canada, région du Québec, 1998, 87 p.

Mingelbier, M., P. Brodeur et J. Morin. « Impacts de la régularisation du débit des Grands Lacs et des changements climatiques sur l'habitat des poissons du fleuve Saint-Laurent », *Vecteur Environnement*, vol. 37, n° 6, 2004, pp. 34-43.

Mingelbier, M., P. Brodeur et J. Morin. *Recommandations concernant les poissons et leurs habitats dans le Saint-Laurent fluvial et évaluation des critères de régularisation du système lac Ontario – Saint-Laurent*, rapport remis à la Commission mixte internationale et le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Direction de la recherche sur la faune, 2005, 141 p.

Mingelbier, M., G. Trencia, R. Dumas, B. Dumas, Y. Mailhot, C. Bouchard, D.C. Manolescu, P. Brodeur, C. Hudon et G. Ouellette. *Avis scientifique concernant la mortalité massive des carpes dans le Saint-Laurent durant l'été 2001*, Société de la faune et des parcs du Québec, Ministère de l'Environnement du Québec, Biodôme de Montréal, Environnement Canada, 2001, 22 p.

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. *Surveillance de la santé animale*, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 2006, <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Productions/santeanimale/surveillance/>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec et Institut national de santé publique du Québec. *Enquête sur la Santé au Nunavik (2004)*, Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec et Institut national de santé publique, 2004, <http://qanuippitaa.com/fr/what.aspx>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec. *Chaleur accablante et rayons UV. Liste des initiatives, guides et plans*, Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, 2006a, <http://www.msss.gouv.qc.ca/sujets/santepub/environnement/index.php?chaleur_accablante_rayons_uv>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec. *Smog*, Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, 2006b, <http://www.msss.gouv.qc.ca/sujets/santepub/environnement/index.php?smog>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec. *Chaleur accablante*, Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, 2006c, <http://www.msss.gouv.qc.ca/sujets/santepub/environnement/index.php?chaleur_accablante_rayons_uv>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère de la Sécurité publique du Québec. *Rapport de la commission Nicolet sur le déluge du Saguenay*, Ministère de la Sécurité publique du Québec, 1996, <http://www.msp.gouv.qc.ca/secivile/secivile.asp?txtSection=publications&txtCategorie=saguenay>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère de la Sécurité publique du Québec. *Rapport de la commission Nicolet sur la tempête de verglas de janvier 1998*, Ministère de la Sécurité publique du Québec, 1999, <http://www.msp.gouv.qc.ca/secivile/secivile_en.asp?txtSection=publications&txtCategorie=verglas&txtSousCategorie=nicolet>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère de la Sécurité publique du Québec. *Au service de votre sécurité*, Ministère de la Sécurité publique du Québec, 2003a, <http://www.msp.gouv.qc.ca/secivile/soutcito/asvs_fr_mrci.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère de la Sécurité publique du Québec. *Programmes actuels d'assistance financière aux sinistrés*, Ministère de la Sécurité publique du Québec, 2003b, <http://www.msp.gouv.qc.ca/secivile/secivile.asp?txtSection=afs&txtCategorie=progactuel>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère des Finances du Québec. *Impacts des changements démographiques sur l'économie, le marché du travail et les finances du Québec*, Ministère des Finances du Québec, Document de recherche, 2005, <http://www.finances.gouv.qc.ca/documents/Autres/fr/Impacts_demographiques2005.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. *L'énergie au Québec*, édition 2004, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2004, <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/energie/energie/energie-au-quebec-2004.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. *Gros plan sur l'énergie : électricité*, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2006a, <http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/energie/energie/energie-portrait-electricite.jsp>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. *Ressources et industrie forestière, portrait statistique, édition 2005-2006*, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2006b, <http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-complete.jsp>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. *Stratégie énergétique : l'énergie pour construire le Québec de demain*, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2006c, <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/strategie/>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère des Transports du Québec. *Gestion des risques de glissements de terrain liés aux pluies des 19 et 20 juillet 1996 au Saguenay-Lac-St-Jean, bilan de la collaboration du Service de la géotechnique et de la géologie*, Direction du Laboratoire des chaussées, Ministère des Transports du Québec, 2000, <http://www.mtq.gouv.qc.ca/fr/publications/reseau/structures/deluge.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère des Transports du Québec. *Mandat d'initiative sur l'impact du réchauffement climatique dans le Nord-du-Québec*, mémoire à la Commission parlementaire sur les transports et l'environnement, Ministère des Transports du Québec, 2006a.

Ministère des Transports du Québec. *Les chaussées et le climat québécois*, Ministère des Transports du Québec, 2006b, <http://www1.mtq.gouv.qc.ca/fr/reseau/chaussees/chaussees.asp>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère des Transports du Québec. *Les chaussées au Québec – Un contexte particulier*, Ministère des Transports du Québec, Fiche, 2006c, <http://www1.mtq.gouv.qc.ca/fr/publications/reseau/chaussees/chaussees_quebec/1_contexte_particulier.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *L'eau, la vie, l'avenir – Politique nationale de l'eau*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2002, 94 p., <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/politique/index.htm>, [consultation : mai 2007].

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *Étude sur la qualité de l'eau potable dans sept bassins versants en surplus de fumier et impacts potentiels sur la santé*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2004a, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/sept-bassins/index.htm>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *Stratégie québécoise sur la diversité biologique 2004-2007*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2004b, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/biodiversite/2004-2007/strategie.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *Fleurs d'eau de cyanobactéries*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2005a, <http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/cyanobacteries/>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *Publication de Règlement modifiant le Règlement sur la qualité de l'eau potable*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2005b, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/brochure/rqep.htm>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *Le Québec et les changements climatiques, un défi pour l'avenir - Plan d'action 2006-2012*, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2006a, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/plan_action/2006-2012_fr.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *Loi sur le développement durable L.R.Q. chapitre D-8.1.1*, Éditeur officiel du Québec, 2006b, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/developpement/loi.htm>, [consultation : 2 mai 2007].

Monette S., A.D. Dallaire, M. Mingelbier, D. Groman, C. Uhland, J.-P. Richard, G. Paillard, L.M. Johannson, D.P. Chivers, H.W. Ferguson, F.A. Leighton et E. Simko. « Massive mortality of common carp (Cyprinus carpio carpio) in the St. Lawrence River in 2001: diagnostic investigation and experimental reproduction of a lymphocytic encephalitis », *Veterinary Pathology*, vol. 43, 2006, pp. 302-310.

Morin, J., O. Champoux, S. Martin et K. Turgeon. *Modélisation intégrée de la réponse de l'écosystème dans le fleuve Saint-Laurent : Rapport final des activités entreprises dans le cadre du Plan d'étude sur la régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent*, rapport scientifique, Service météorologique du Canada, Québec – Section Hydrologie RS-108, Environnement Canada, 2005, 139 p.

Morin, J., M. Mingelbier, J.A. Bechara, O. Champoux, Y. Secretan, M. Jean et J.-J. Frenette. « Emergence of new explanatory variable for 2D habitat modelling in large rivers: the St. Lawrence experience », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 28, 2003, pp. 249-272.

Morneau, F., M. Michaud, F. Lecours, L. Côté et D. Roy. *Étude d'impact sur l'environnement : projets de protection des berges le long de la route 132 autour de la péninsule gaspésienne*, Ministère des Transports du Québec, 2001, 84 p. et annexes.

Morner, N.-A. « Estimating future sea level changes from past records », *Global and Planetary Change*, vol. 40, n° 1-2, 2003, pp. 49-54.

Mortsch, L., H. Hengeveld, M. Lister, B. Lofgren, F.H. Quinn, M. Slivitzky et L. Wenger. « Climate change impacts on the hydrology of the Great Lakes St. Lawrence system », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 25, n° 2, 2000, pp. 153-179.

Musy, A. *A multidisciplinary approach to facilitate adaptation to climate change : the Ouranos model*, présentation Ouranos à la 12e séance de la Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques tenue le 17 novembre 2006 à Nairobi, Kenya, 2006, <http://www.ouranos.ca/doc/COP12/cop12_musy_final.pdf>, [consultation : mai 2007].

Nantel, E., A. Mailhot, A.N. Rousseau et J.-P. Villeneuve. « A methodology to assess historical and current municipal water supply vulnerabilities: an application to Quebec municipalities », dans *Computing and Control for the Water Industry, 8e conférence*, Internationale tenue du 5 au 7 septembre 2005 à l'Université d'Exeter, Exeter, Royaume-Uni, vol. 2, 2005, 185 p.

National Institute of Coastal and Marine Management of the Netherlands. *A guide to coastal erosion management practices in Europe*, Directorate General Environment - European Commission, 2004, 177 p., <http://www.eurosion.org/shoreline/lessons_learned.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Nearing, M.A., F.F. Pruski et M.R. Oneal. « Expected climate change impacts on soil erosion rates: a review », *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 59, n° 1, 2004, pp 43-50.

Nemani, R.R., C.D. Keeling, H. Hashimoto, W.M. Jolly, C.C. Piper, C.J. Tucker, R.B. Myneni et S.W. Running. « Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999 », *Science*, vol. 300, n° 5625, 2003, pp. 1560-1563.

Neumann, J.E., G. Yohe, R.J. Nicholls et M. Manion. *Sea level rise and global climate change: a review of impacts to US coasts*, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginie, 2000, 43 p., <http://www.pewclimate.org/docUploads/env%5Fsealevel%2Epdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Nickels, S., C. Furgal, M. Buell et H. Moquin. *Unikkaaqatigiit – Putting the Human Face on Climate Change: Perspectives from Inuit in Canada*, publication conjointe de l'Inuit Tapiriit Kanatami, Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments à l'Université Laval et le Atunngiuq Centre a la National Aboriginal Health Organization, 2005.

Nituuchischaayihtitaau Aschii. *Multi-Community Environment-and-Health Longitudinal Study in Iiyiyiu Aschii, Mistissini 2005*, rapport préliminaire inédit du Centre de recherche du CHUQ, 2005.

Oke, T.R. « The energetic basis of urban heat island », *Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 108, n° 455, 1982, pp. 1-24.

Ordre des ingénieurs du Québec. *Code de déontologie des ingénieurs*, Ordre des ingénieurs du Québec, 2006, <http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/I_9/I9R3.HTM>, [consultation : 2 mai 2007].

Organisation de patrouilles de la société de protection des forêts contre le feu. *Société de protection des forêts contre le feu : statistiques 2006*, Organisation de patrouilles de la Société de protection des forêts contre le feu (SOPFEU), 2006, <http://www.sopfeu.qc.ca>, [consultation : 2 mai 2007].

Organisation mondiale de la santé. *Climate change and human health: risks and responses*, Organisation mondiale de la santé, 2003, <http://www.who.int/globalchange/publications/cchhsummary/en/>, [consultation : 2 mai 2007].

Organisation mondiale de la santé. *Climat et santé*, Organisation mondiale de la santé, 2005, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/fr/>, [consultation : 2 mai 2007].

Ouellet, V., O. Champoux et J. Morin. *Modèle d'impacts des fluctuations de niveau d'eau sur la survie hivernale du rat musqué : rapport final des activités entreprises dans le cadre du Plan d'étude sur la régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent*, rapport technique, Service météorologique du Canada, Québec – Section Hydrologie RT-139, Environnement Canada, préparé pour le Groupe de travail technique sur l'environnement du Groupe d'étude international sur le lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent de la Commission mixte internationale, 2005, 75 p.

Ouranos. *S'adapter aux changements climatiques*, Ouranos, Montréal (Québec), 2004, 91 p., <http://www.ouranos.ca/doc/produit_f.html>, [consultation : 2 mai 2007].

Ouranos. *Programmation scientifique*, Ouranos, Montréal (Québec), 2006, <http://www.ouranos.ca/programmation/prog_f.html>, [consultation : 2 mai 2007].

Ouranos. *Site Internet*, Ouranos, Montréal (Québec), 2007, <http://www.ouranos.ca>, [consultation : 2 mai 2007].

Owens, S., P. Gosselin, C. Furgal, J.-F. Proulx et L. Château-Degat. *Nunavik's public health surveillance in response to a changing climate: a baseline study*, ArcticNet et Centre hospitalier universitaire de Québec (CHUQ), 2006, 113 p.

Parlee, K. *Réduire la vulnérabilité des promenades et sentiers côtiers à l'érosion, aux ondes de tempêtes, aux inondations et aux glaces de mer*, comptes rendus de l'atelier du Secteur zones côtières et Région Atlantique du Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN) tenu le 7 mai 2004 à Halifax (Nouvelle-Écosse), 2004, <http://c-ciarn.bio.ns.ca/documents/CZReport04-3_f.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Payette, S. « Origin of the lichen woodland at its southern range limit in eastern Canada: the catastrophic impact of insect defoliators and fire on the spruce-moss forest », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 30, 1999, pp. 288-305.

Payette, S. et L. Rochefort (éd.). *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*, Les Presses de l'Université Laval, Québec (Québec), 2001, 621 p.

Payette, S., M.J. Fortin et I. Gamache. « The sub-arctic forest-tundra: the structure of a biome under changing climate », *Bioscience*, vol. 51, n° 9, 2001, pp. 709-718, <http://www.zoo.utoronto.ca/fortin/Payette2001.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Payette, S., A. Delwaide, M. Caccianiga et M. Beauchemin. « Accelerated thawing of subarctic peatland permafrost over the last 50 years », *Geophysical Research Letters*, vol. 31, L18208, 2004.

Peixoto, J. P. et A.H. Oort. *Physics of Climate*, American Institute of Physics, 1992, 520 p.

Peterson, A.T. et R. Scachetti-Pereira. « Potential Geographic Distribution of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) in North America », *The American Midland Naturalist*, vol. 151, n° 1, 2004, pp. 170-178.

Plummer, D. A., D. Caya, A. Frigon, H. Côté, M. Giguère, D. Paquin, S. Biner, R. Harvey et R. de Elia. « Climate and Climate Change over North America as Simulated by the Canadian RCM », *Journal of Climate*, vol. 19, n° 13, 2006, pp. 3112-3132.

Price, D.T. et D. Scott. *Large scale modeling of Canada's forest ecosystem responses to climate change*, rapport final remis en juin 2006 au Gouvernement du Canada dans le cadre du Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, 2006.

Prowse, T.D. et S. Beltaos. « Climatic control of river-ice hydrology: a review », *Hydrological Processes*, vol 16, 2002, pp. 805-822.

Pugin, S., I.F. Cyr, L.G. Fortin et R. Turcotte. *Une approche par bassin versant pour évaluer l'impact des changements climatiques et la capacité d'adaptation - Développements méthodologiques pour un bassin agricole du Québec méridional*, rapport technique remis au ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2006.

Régie régionale de la santé et des services sociaux de Chaudière-Appalaches. *Avis de santé publique portant sur les risques à la santé associées aux activités de production animale en Chaudière-Appalaches*, Régie régionale de la santé et des services sociaux de Chaudière-Appalaches, 2001, <http://www.rrsss12.gouv.qc.ca/pdf/Avis-Production_animales-mars_01.pdf>, [consultation : 3 mai 2007].

Régie régionale de la santé et des services sociaux Nunavik. *Qanuippitaa ? Lenquête de santé du Nunavik*, Régie régionale de la santé et des services sociaux Nunavik, 2004, <http://qanuippitaa.com/fr/index.aspx>, [consultation : 2 mai 2007].

Régnière J., B.J.Cooke, J.A. Logan, A.L. Carroll et L. Safranyik. « Les changements climatiques et les ravageurs indigènes et exotiques : une nouvelle réalité ? », dans *Changements climatiques et foresterie : impacts et adaptation*, comptes-rendus du colloque tenu les 20 et 21 avril 2005 à Baie-Comeau (Québec), 2006.

Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation. *Les hauts et les bas du niveau de l'eau : la vulnérabilité des localités côtières face aux variations du niveau de l'eau*, Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation, (C-CIARN), Secteur zones côtières, comptes-rendus de l'atelier national no 1, North Vancouver (Colombie-Britannique), 2003, <http://c-ciarn.bio.ns.ca/documents/CZReport04-1_f.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation. *Site Internet du C-CIARN-Nord*, Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation, 2006, <http://taiga.net/c-ciarn-north/>, [consultation : 2 mai 2007].

Rivard, C., J. Marion, Y. Michaud, S. Benhammane, A. Morin, R. Lefebvre et A. Rivera. *Étude de l'impact potentiel des changements climatiques sur les ressources en eau souterraine dans l'Est du Canada*, Commission géologique du Canada, Dossier public 1577, 2003, 39 p.

Rizzo, B. et E. Wilken. « Assessing the sensitivity of Canada's ecosystems to climatic change », *Climatic Change*, vol. 21, n° 1, 1992, pp. 37-56.

Robichaud, A. et R. Drolet. *Rapport sur l'état du Saint-Laurent – Les fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent*, Équipe conjointe bilan, composée de représentants d'Environnement Canada, de Pêches et Océans Canada et du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Rapport technique, 1998.

Rochette, P., G. Bélanger, Y. Castonguay, A. Bootsma et D. Mongrain. « Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada », *Revue canadienne de phytotechnie*, vol. 84, 2004, pp. 1113-1125.

Root, T.L. et S.H. Schneider. « Climate change: Overview and Implications for Wildlife », dans *Wildlife Responses to Climate Change: North American Case Studies*, S.H. Schneider et T.L. Root (éd.), Island Press, Washington, D.C., 2002, 437 p.

Rounsevell, M.D.A., P.M. Berry et P.A. Harrison. « Future environmental change impacts on rural land use and biodiversity: a synthesis of the ACCELERATES project », *Environmental Science and Policy*, vol. 9, 2006, pp. 93-100.

Rousseau, A., A. Mailhot et J.-P. Villeneuve. *Connaissons-nous bien la capacité des bassins versants et aquifères régionaux à fournir de l'eau potable à la population du Québec sous de nouvelles conditions climatiques ?*, 26e Symposium sur les eaux usées et 15e Atelier sur l'eau potable tenus les 17 et 18 septembre 2003 à Laval (Québec), 2003.

Rousseau, A.N., A. Mailhot, M. Shvitzky, J.-P. Villeneuve, M.J. Rodriguez et A. Bourque. « Usages et approvisionnement en eau dans le Sud du Québec. Niveau des connaissances et axes de recherche à privilégier dans une perspective de changements climatiques », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 29, n° 2, 2004, pp. 125-138.

Rousseau, A. N., D. Quilbé, S. Savary, S. Ricard, J.-S. Moquet, M.S., Garbouj et M. Duchemin. *Vulnérabilité de l'agriculture en réponse aux changements climatiques : étude de l'influence passée et future de l'occupation agricole du territoire d'un bassin versant, à l'aide d'un système de modélisation intégrée*, rapport final remis au Fonds d'action pour le changement climatique, projet A946, 2007, 336 p.

Roy L. *Le verglas de 1998 dans le Nord-Est de l'Amérique du Nord*, Bulletin d'information en santé environnementale (BISE), Institut national de santé publique du Québec, 1998, <http://www.inspq.qc.ca/bulletin/bise/1998/bise_9_6.asp?Annee=1998#article2>, [consultation : 2 mai 2007].

Santé Canada. *Qualité de l'air et ses effets sur la santé*, Santé Canada, 2004, <http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/qualite_air/effets_sante.htm>, [consultation : 2 mai 2007].

Santé Canada. *Exercice de chaleur accablante*, rapport DDH Environnement Ltée, no 05-044, Montréal (Québec), 2005, 48 p.

Saucier, F., S. Senneville, S. Prinsenberg, F. Roy, G. Smith, P. Gachon, D. Caya et R. Laprise. « Modelling the sea ice-ocean seasonal cycle in Hudson Bay, Foxe Basin and Hudson Strait, Canada », *Climate Dynamics*, vol. 23, n° 3-4, 2004, pp. 303-326.

Scherm, H. « Climate change: can we predict the impacts on plant pathology and pest management? », *Revue canadienne de phytopathologie*, vol 26, 2004, pp. 267-273.

Schweizer, J. et J.B. Jamieson. « Snow stability measurements », dans *Proceedings International Seminar on Snow and Avalanches Test Sites*, 22 et 23 novembre 2001, Grenoble, France, Cemagref Editions, 2003, pp. 317-331, <http://www.schulich.ucalgary.ca/Civil/Avalanche/Papers/SnowStabilityMeasurements.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Scott, D., J.B. Malcom et C. Lemieux. « Climate change and modelled biome representation in Canada's national park mandates », *Global Ecology & Biogeography*, vol. 11, 2002, pp. 475-484.

Scott, D., G. McBoyle et A. Minogue. « Climate change and Quebec's ski industry », *Global Environmental Change*, vol. 17, n° 2, 2006, pp. 181-190.

Secretan, Y., M. Leclerc, É. Larouche, P. Boubreau et N. Roy. *Système d'évaluation et de gestion des risques d'inondation en milieu fluvial (SEGRI)*, rapport final, Institut national de recherche scientifique-Eau, Terre et Environnement, Québec (Québec), Rapport de recherche 720 f, vii, 2006, 128 p.

Secrétariat aux affaires autochtones. *La population autochtone au Québec*, Secrétariat aux affaires autochtones, 2006, <http://www.autochtones.gouv.qc.ca/nations/population.htm>, [consultation : 2 mai 2007].

Sécurité publique Canada. *Glissements de terrain et avalanches importants des XIXe et XXe siècles*, Sécurité publique Canada, 2006, <http://www.pssepc-sppcc.gc.ca/res/em/nh/lsa/lsa-sig-fr.asp>, [consultation : 2 mai 2007].

Seguin, M.K. et M. Allard. « Le pergélisol et les processus thermokarstiques de la région de la rivière Nastapoca, Nouveau-Québec », *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 38, 1984, pp. 11-25.

Shuter, B.J., C.K. Minns, H.A. Regier et J.D. Reist. « L'Étude pancanadienne sur l'adaptation à la variabilité et au changement climatique - Secteur des pêches », dans *Impacts et adaptation à la variabilité et au changement du climat : questions sectorielles*, G. Koshida et W. Avis (éd.), Environnement Canada, Étude pancanadienne sur l'adaptation à la variabilité et au changement climatique, vol. VII, 1998, pp. 277–344.

Singh, B., C. Bryant, P. André et J.-P. Thouez. *Impact et adaptation aux changements climatiques pour les activités de ski et de golf et l'industrie touristique: le cas du Québec*, rapport final, projet Ouranos, 2006, <http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/tourisme.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Slivitzky, M., A. Frigon et D. Caya. *Impact du changement climatique sur le régime hydrologique des rivières du nord du Québec et du Labrador*, 57e congrès annuel de l'Association canadienne des ressources hydriques tenu du 16 au 18 juin 2004 à Montréal (Québec), 2004.

Société canadienne d'hypothèques et de logement. *Site Internet*, Société canadienne d'hypothèques et de logement, 1996, <http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/co/enlo/ampa/ampa_003.cfm>, [consultation : 2 mai 2007].

Solomon-Côté, P. *Élaboration d'une classification de terrain en milieu de pergélisol à l'aide d'un SIG, en vue de l'aménagement du territoire: Le cas de Salluit au Nunavik*, thèse de maîtrise, Département de géographie, Université Laval, Québec (Québec), 2004, 113 p.

Sottile, M.-F. *Changements climatiques pour la révision des normes d'efficacité énergétique dans les nouveaux bâtiments*, étude réalisée pour l'Agence de l'efficacité énergétique, 2006, 20 p., <http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Sottile_109.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Statistique Canada. *Coverage – 2001 Census Technical Report*, Statistique Canada, 2001, <http://www12.statcan.ca/english/census01/Products/Reference/tech_rep/coverage/offline%20documents/92-394-XIE.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Statistique Canada. *Recensement de l'agriculture de 2001. Données sur les exploitants et les exploitations agricoles*, Statistique Canada, CD-ROM, 2002.

Statistique Canada. *Bulletin d'analyse – Régions rurales et petites villes du Canada*, Statistique Canada, 2005, vol. 6, nº 6

Statistique Canada. *Âge de l'infrastructure publique au Canada*, analyse en bref, V. Gaudreau et P. Lemire, Division de l'investissement et du stock de capital, Statistique Canada, 2006, 13 pp.

Statistique Canada. *Portrait de la population canadienne en 2006 : dynamique de la population infraprovinciale– la RMR de Montréal*, série du recensement 2006, Statistique Canada, 2007a, <http://www12.statcan.ca/francais/census06/analysis /popdwell/Subprov4.cfm>, [consultation : 2 mai 2007].

Statistique Canada. *Produit intérieur brut en termes de dépenses, par province et territoire, tableau CANSIM 384-0002 et no de catalogue 13-213-PPB, dernières modificatuns apportées le 25 avril 2007*, Statistique Canada, 2007b, <http://cansim2.statcan.ca/cgi-win/cnsmcgi.exe?Lang=F&RootDir=CII/&ResultTemplate=CII/CII_pick&Array_Pick=1&ArrayId=384-0002>, [consultation : 2 mai 2007].

Stirling, I., N.J. Lunn et J. Iacozza. « Long-term trends in the population ecology of polar bears in western Hudson Bay in relation to climatic change », *Arctic*, vol. 52, nº 3, 1999, pp. 294–306.

Stone, D.A., A.J. Weaver et F.W. Zwiers. « Trends in Canadian precipitation intensity », *Atmosphere-Ocean*, vol. 38, nº 2, 2000, pp. 321-347.

Stratégie canadienne de lutte contre le cancer. Axe prioritaire d'intervention- groupe d'intervention primaire, Stratégie canadienne de lutte contre le cancer, 2001, <http://209.217.127.72/sclcc/ppagpage_fr1.html>, [consultation : 13 avril 2006].

Strode, P.K. « Implications of climate change for North American wood warblers » (Parulidae), *Global Change Biology*, vol. 9, 2003, pp. 1137-1144.

Swansberg, E. et N. El-Jabi. *Impact of climate change on river water temperatures and fish growth*, rapport rédigé pour le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 2001.

Tanguay J. et J.-J. Roussel. « Un système d'aide aux décisions hivernales », Innovation Transport, *Bulletin scientifique et technique*, no 9, 2000.

Tanner, C.E., M. Staudt, R. Adamowski, M. Lussier, S. Bertrand et R.K. Prichard. « Seroepidemiological study for five different zoonotic parasites in northern Quebec », *Revue canadienne de santé publique*, vol. 78, nº 4, 1987, pp. 262-266.

Tardif, I., C. Bellerose et E. Masson. *Environnements et santé: Le point de vue des Montérégiens*. Bulletin d'information en santé environnementale (BISE), Institut national de santé publique du Québec, 2006, <http://www.inspq.qc.ca/pdf/bulletins/bise/BISE-17-6.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Tebaldi, C., K. Hayhoe, J.M. Arblaster et G.A. Meehl. « Going to the extremes: An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events », *Climatic Change*, vol. 79, nº 3-4, pp. 185-211.

Tremblay, M., C. Furgal, V. Lafortune, C. Larrivée, J.P. Savard, M. Barrett, T. Annanack, N. Enish, P. Tookalook et B. Etidloie. « Climate change, communities and ice: Bringing together traditional and scientific knowledge for adaptation in the North », dans *Climate Change Linking Traditional and Scientific Knowledge*. R Riewe et J Oakes (éd.), Aboriginal Issues Press, University of Manitoba, Winnipeg (Manitoba), 2006, pp. 185-201.

Tremblay, C., L. Jacques, C. Prévost, M. Noiseux, M. Blackburn et L. Boileau. *Les impacts du verglas de 1998 sur la santé des Montérégiens*, Bulletin d'information en santé environnementale (BISE), Institut national de sante publique du Québec, 1998, <http://www.inspq.qc.ca/bulletin/bise/1998/bise_9_6.asp?Annee=1998#article1>, [consultation : 2 mai 2007].

Turcotte, R., L.G. Fortin, S. Pugin, et J.F. Cyr. *Impact des changements climatiques sur les plans de gestion des réservoirs Saint-François et Aylmer: résultats préliminaires*, comptes-rendus du Congres annuel de l'Association canadienne des barrages tenu du 3 au 5 octobre 2005à Calgary (Alberta), 2005.

Turgeon, K., O. Champoux, S. Martin et J. Morin. *Modélisation des grandes classes de milieux humides de la plaine inondable du fleuve Saint-Laurent : considération de la succession des communautés végétales*, rapport scientifique, Service météorologique du Canada, Québec – Section Hydrologie RS-107, Environnement Canada, 2005, 89 p.

United States Global Change Research Program. *Climate change and a global city: an assessment of the Metropolitan East Coast region*, United States Global Change Research Program, 2000, <http://metroeast_climate.ciesin.columbia.edu/reports/assessmentsynth.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Vescovi, L. « The state of Canada's water », chapitre 1 dans *Water Resources of North America*, A.K. Biswas (éd.), Centre for Water Management, Mexico, Mexique, Springer-Verlag, 2003.

Vescovi, L., M. Rebetez et F. Rong. « Assessing public health risk due to extremely high temperature events: climate and social parameters », *Climate Research*, vol. 30, 2005, pp. 71-78.

Ville de Montréal. *Le plan stratégique de développement durable de Montréal*, Ville de Montréal 2005, <http://www2.ville.montreal.qc.ca/cmsprod/fr/developpement_durable/plan_strategique>, [consultation : 2 mai 2007].

Villeneuve, J.P., D. Fougères, M. Gaudreau, P.-J. Hamel, C. Poitras, G. Sénécal, M. Trépanier, N. Vachon, R. Veillette, S. Duchesne, A. Mailhot, E. Musso et G. Pelletier. *Synthèse des rapports INRS-Urbanisation et INRS-Eau sur les besoins des municipalités québécoises en réfection et construction d'infrastructures d'eaux*, Institut national de recherche scientifique-Urbanisation et Institut national de recherche scientifique-Eau, Rapport de recherche no. R517-b, 1998, 50 p., <http://www.inrs-ete.uquebec.ca/pub/r517b.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Villeneuve, J.-P., A. Mailhot et E. Salvano. *Problématique de l'approvisionnement et de l'utilisation de l'eau potable dans la nouvelle ville de Québec*, Institut national de recherche scientifique-Eau, Terre et Environnement, 2001, 122 p.

Visser, M.E. et C. Both. « Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick », *Proceedings of the Royal Society*, B 272, 2005, pp. 2561-2569, <http://www.rug.nl/biologie/onderzoek/onderzoekgroepen/dierecologie/publications/2Visser05.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Voituriez, B. Les humeurs de l'océan. *Effets sur le climat et les ressources vivantes*, dans la collection « COI Forum Océans », Organisation des Nations Unies pour l'éducation, les sciences et la culture (UNESCO), Paris, France, 2003, 158 p.

Wall, G. « Implications of Global Climate Change for Tourism and Recreation in Wetland Areas », *Climatic Change*, vol. 40, nº 2, 1998, pp. 371-389.

Wall, E., B. Smit et J. Wandel. *Canadian Agri-food Sector Adaptation to Risks and Opportunities from Climate Change*, Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN)-Agriculture, 2004, 68 p.

Walther, G.-R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T.J. Beebee, J.-M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg et F. Bairlein. « Ecological response to recent climate change », *Nature*, vol. 416, 2002, pp. 389-395.

Wang, X.L.,V.R. Swail et F.W. Zwiers. « Climatology and changes of extra-tropical cyclone activity: comparison of ERA40 with NCEP/NCAR Reanalysis for 1958-2001 », *Geophysical Research Abstracts*, vol. 8, 03146, 2006.

Wettstein, J.J. et L.O. Mearns. « The influence of the North Atlantic-Artic Oscillation on mean, variance and extremes of temperature in the Northeastern United States and Canada », *Journal of Climate*, vol.15, 2002.

Wijngaard, J.B., A.M.G. Klein Tank et G.P. Konnen. « Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series », *International Journal of Climatology*, vol. 23, 2003, pp. 679-692.

Wilton, D. et T. Wirjanto. *An Analysis of the Seasonal Variation in the National Tourism Indicators*, Commission canadienne de tourisme, Ottawa (Ontario), 1998.

Wotton, B.M. et M.D. Flannigan. « Length of the fire season in a changing climate », *The Forestry Chronicle*, vol. 69, 1993, pp. 187-192.

Wotton, B.M., D.L. Martell et K.A. Logan. « Climate change and people-caused forest fire occurrence in Ontario », *Climatic Change*, vol. 60, nº 3, 2003, pp. 275-295.

Wrona, F., T. Prowse, J. Reist, R. Beamish, J.J. Gibson, J. Hobbie, E. Ieppesen, J. King, A. Korhola, R. Macdonald, M. Power, V. Skvortsov, G. Keock, W. Vincent et L. Levesque. « Freshwater Arctic Ecosystems », chapitre 7 dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Londres, Royaume-Uni, 2005, pp. 353–452.

Xu, Z., F.J. Saucier et D. Lefaivre. « Water Level Variations in the Estuary and Gulf of St.Lawrence », dans *Understanding Sea-Level Rise and Variability*, atelier tenu du 6 au 9 juin 2006 à Paris, France, 2006.

Yagouti A., G. Boulet et L. Vescovi. « Homogénéisation des séries de températures et analyse de la variabilité spatio-temporelle de ces séries au Québec méridional », rapport no 4 dans *Homogénéisation des séries de températures du Québec méridional et analyse de l'évolution du climat à l'aide d'indicateurs*, Ouranos, Montréal (Québec), 2006, 140 p., <http://www.ouranos.ca/doc/Rapports%20finaux/Rapport_final_MDDEP_Ouranos_projet7%201%20.pdf>, [consultation : 2 mai 2007].

Yagouti A., G. Boulet, L. Vincent et L. Vescovi. « Analyse de l'évolution de la température et de quelques indicateurs climatiques au Québec méridional entre 1960 et 2003 », *Atmosphere- Ocean*, sous presse.

Zhang, X., W.D. Hogg et E. Mekis. « Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation events over Canada », *American Meteorological Society*, vol. 14, nº 9, 2001, pp. 1923-1936

Zhang, K., B.C. Douglas et S.P. Leatherman. « Global Warming and Coastal Erosion », *Climatic Change*, vol. 64, nº 1-2, 2004, pp. 41-58.

CHAPITRE 6
Ontario

Auteurs principaux :
Quentin Chiotti[1] et Beth Lavender[2]

Collaborateurs :
Ken Abraham (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario), John Casselman (Queen's University), Steve Colombo (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario), Philippe Crabbé, (Université d'Ottawa), Bill Crins (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario), Rob Davis (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario), Al Douglas (MIRARCO), Paul A. Gray (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario), Lawrence Ignace (Environnement Canada), Chris Lemieux (Waterloo University), Rob McAlpine (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario), Martyn Obbard (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario), Charles O'Hara (ministère des Transports de l'Ontario), Jacqueline Richard (MIRARCO), Carrie Sadowski (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario), Daniel Scott (Waterloo University), Mark Taylor (AMEC Earth and Environmental), Ellen Wall (Guelph University)

Notation bibliographique recommandée :

Chiotti, Q. et B. Lavender. « Ontario », dans *Vivre avec les chagements climatiques au Canada : édition 2007*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix and E. Bush (éditeurs); Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, pp. 227-274.

---

[1] Pollution Probe, Toronto (Ontario)
[2] Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario)

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 231

2 CONTEXTE RÉGIONAL : CONDITIONS ACTUELLES ET FUTURES 233
- 2.1 Situation démographique et état de la santé 233
- 2.2 Pouvoirs publics et institutions 234
- 2.3 Croissance économique et développement 234
- 2.4 Énergie – production, transport et demande 235
- 2.5 Tendances et prévisions atmosphériques 236

3 SENSIBILITÉ, IMPACTS ET VULNÉRABILITÉ : PERSPECTIVES POUR LES SOUS-RÉGIONS 241
- 3.1 Sous-région sud 241
  - 3.1.1 Écosystèmes 241
  - 3.1.2 Gestion des ressources hydriques 243
  - 3.1.3 Santé humaine 245
  - 3.1.4 Agriculture 250
  - 3.1.5 Énergie 251
  - 3.1.6 Transports 253
  - 3.1.7 Tourisme et loisirs 254
- 3.2 Sous-région centrale 255
  - 3.2.1 Écosystèmes 255
  - 3.2.2 Foresterie 256
  - 3.2.3 Gestion des ressources hydriques 258
  - 3.2.4 Transports 258
  - 3.2.5 Tourisme et loisirs 259
  - 3.2.6 Santé humaine 259
  - 3.2.7 Énergie 259
  - 3.2.8 Exploitation minière 259
  - 3.2.9 Agriculture 260
- 3.3 Sous-région nord 260
  - 3.3.1 Écosystèmes 260
  - 3.3.2 Transports 261
  - 3.3.3 Gestion des ressources hydriques 261
  - 3.3.4 Santé humaine 262
  - 3.3.5 Énergie 262
  - 3.3.6 Exploitation minière 262

4 SYNTHÈSE 263
- 4.1 Préoccupations principales 265
- 4.2 Vulnérabilité et capacité d'adaptation 266
- 4.3 Conclusions et recommandations 268

5 REMERCIEMENTS 268

6 RÉFÉRENCES 268

PRINCIPALES CONCLUSIONS

L'équilibre social, économique et culturel de l'Ontario est régi par le climat. Sa vulnérabilité à la variabilité et à l'évolution du climat a été mise en évidence par les impacts de phénomènes météorologiques récents : sécheresses, fortes précipitations, tempêtes de verglas ou de vent et vagues de chaleur. Parmi ces impacts figuraient des pénuries d'eau, une baisse du niveau des eaux des Grands Lacs, des inondations, des feux de forêt, des baisses de la production agricole, des dégâts aux infrastructures et aux biens, des pannes de courant et des épidémies d'origine hydrique.

Depuis 1948, la moyenne des températures annuelles en Ontario a monté de près de 1,4 °C. On projette une poursuite de cette tendance, les hausses de température les plus prononcées devant avoir lieu l'hiver. Les projections indiquent également que la fréquence des épisodes de pluies intenses, des vagues de chaleur et des épisodes de smog est appelée à augmenter.

L'infrastructure physique, la qualité de l'eau et l'approvisionnement en eau, la santé et le bien-être des populations humaines, les collectivités éloignées et celles qui dépendent des ressources naturelles, ainsi que les écosystèmes, sont particulièrement sensibles au climat. Le degré de vulnérabilité des systèmes dépend de leur aptitude à s'adapter aux modifications qu'apportent les stress d'origine tant climatique que non climatique.

Dans toutes les régions de la province, des **phénomènes climatiques perturbent des infrastructures essentielles,** notamment les systèmes de traitement et de distribution de l'eau, les équipements de production et de transport de l'énergie et les réseaux de transport, et la fréquence de ces perturbations va probablement augmenter dans l'avenir. Ces dernières années, des inondations causées par des épisodes de temps violent ont perturbé les voies de transport et de communication, causant des dommages évalués à plus de 500 millions de dollars. Des pannes de courant de longue durée, touchant de vastes pans de territoire, ont été occasionnées par des défaillances des réseaux de transport et de distribution d'électricité. La baisse du niveau des eaux dans les Grands Lacs pourrait compromettre la navigation et réduire la production hydroélectrique de plus de 1 100 mégawatts.

Des **pénuries d'eau** ont été constatées dans le sud de la province, et on prévoit que leur fréquence augmentera avec la hausse des températures estivales et des taux d'évaporation. Certaines parties des comtés de Durham, de Waterloo et de Wellington, et le rivage du sud de la baie Georgienne, où les scénarios de croissance démographique indiquent que la population continuera de croître de manière sensible, seront de plus en plus vulnérables aux pénuries d'eau au cours des 20 prochaines années.

La santé des résidents de l'Ontario est menacée car ils sont exposés à des risques de maladies, de blessures et de décès prématurés résultant de phénomènes climatiques tels que les conditions extrêmes, les vagues de chaleur, les épisodes de smog, ainsi que les changements d'ordre écologique qui favorisent la propagation des maladies à transmission vectorielle. La mortalité liée à la chaleur pourrait plus que doubler dans le sud et le centre de l'Ontario d'ici les années 2050, tandis que la mortalité imputable à la pollution atmosphérique pourrait progresser de 15 à 25 p. 100 pendant la même période. On prévoit une augmentation de la fréquence des précipitations extrêmement abondantes, comme celles qui ont contribué en mai 2000 au déclenchement de l'épidémie d'*E. coli* à Walkerton (Ontario), entraînant la mort de sept personnes et provoquant quelque 2 300 cas d'infection. L'adaptation à ces épisodes, tels que les systèmes d'alerte au smog, est désormais chose courante, et certaines villes ont récemment instauré des systèmes d'avertissement de chaleur intense.

Les collectivités éloignées et tributaires des ressources ont gravement souffert de la sécheresse, des inondations dues aux embâcles, des incendies de forêts et du réchauffement des hivers, qui ont entraîné des évacuations répétées, perturbé des liens de transport essentiels et mis à rude épreuve les économies fondées sur la forêt. L'élévation projetée des températures hivernales continuera de faire

raccourcir la saison d'utilisation des routes d'hiver, limitant ainsi les possibilités de livraison de matériaux de construction, de produits alimentaires et de carburants à de nombreuses collectivités et villages miniers éloignés du nord. L'augmentation de la fréquence des incendies de forêts et des proliférations de ravageurs aura des incidences néfastes sur la santé et l'économie des collectivités tributaires de la forêt, en particulier dans les parties les plus septentrionales de la forêt boréale de l'Ontario.

Les écosystèmes de l'Ontario subissent des stress sous l'action conjuguée du changement climatique, de l'activité humaine et des perturbations naturelles, comme le feu, les proliférations d'insectes et les épidémies. Les terres humides sont particulièrement sensibles et ont subi des pertes spectaculaires ces dernières années, en particulier dans le sud de l'Ontario. Les changements constatés de l'abondance relative des espèces de poissons dans le sud de l'Ontario révèlent que des espèces d'eaux froides ou tempérées cèdent graduellement leur place à des espèces d'eaux chaudes. Les modifications de la composition des écosystèmes aquatique et terrestre dans la région de la baie d'Hudson et le déclin du nombre et de l'état de santé des ours blancs et des phoques sont autant d'exemples d'impacts déjà en cours. Les baisses des niveaux d'eau des Grands Lacs que l'on projette pour l'avenir continueront de mettre en péril les terres humides qui, aujourd'hui, assurent l'intégrité des rivages, freinent l'érosion, filtrent les matières contaminantes, absorbent les excédents d'eau pluviale, et fournissent un habitat important aux poissons et à la faune en général. Les espèces envahissantes deviendront probablement plus nombreuses et plus abondantes dans les Grands Lacs, ce qui exigera de modifier les infrastructures ou les méthodes de gestion propres à la situation.

L'Ontario jouit d'une forte capacité d'adaptation au changement climatique, comme semble l'indiquer toute une gamme d'indicateurs, dont la richesse économique, les niveaux de technologie, d'information et de compétences, les infrastructures, les institutions, le capital social et le degré d'équité. Cependant, cette capacité n'est pas uniformément répartie d'une sous-région et d'un secteur à l'autre. La province commence à s'adapter. C'est ainsi que le changement climatique a été intégré dans certaines planifications et prises de décisions à long terme, notamment par certains services de protection de la nature (p. ex., gestion des eaux pluviales) et de santé publique (p. ex., systèmes d'avertissement de chaleur intense). Il est possible d'intégrer rapidement l'adaptation au changement climatique dans le processus décisionnel, comme l'illustrent, par exemple, la *Loi sur l'eau saine* et d'autres lois, règlements ou activités planifiées reliés, entre autres, aux programmes de renouvellement des infrastructures, aux programmes d'intervention en cas de baisse du niveau des eaux et aux stratégies de développement.

1 INTRODUCTION

L'équilibre social, économique, environnemental et culturel de l'Ontario a été, pour une bonne part, façonné par la géographie de la région, ses ressources naturelles et son climat. Bien que la plupart des secteurs d'activité de la province soient relativement bien adaptés au climat actuel, des phénomènes climatiques extrêmes peuvent causer un préjudice considérable. Le réchauffement du climat se manifeste par les changements des conditions climatiques tant moyennes qu'extrêmes que connaît l'Ontario, et cette situation persistera. Des phénomènes climatiques récents comme les sécheresses, les inondations, les vagues de chaleur et la récurrence d'hivers plus cléments ont eu diverses répercussions en Ontario : pénuries d'eau, incendies de forêts, baisse des niveaux de l'eau des Grands Lacs, baisse de la production agricole, pannes de courant et épidémies d'origine hydrique. Ces répercussions elles-mêmes ont entraîné des coûts économiques et sociaux considérables, qui portent à s'interroger sur la vulnérabilité de l'Ontario au changement climatique à venir. Les conséquences jugées les plus préoccupantes, tant aujourd'hui que pour l'avenir, varient cependant d'une sous-région à l'autre de la province.

La capacité d'adaptation de l'Ontario aura une forte incidence sur l'importance des impacts du changement climatique que la province aura à subir. Les indicateurs de la capacité d'adaptation les plus communément retenus sont les ressources économiques, l'accès à la technologie, à l'information et à la compétence, et le degré de préparation des infrastructures et des institutions (*voir* le chapitre 2; Smit *et al.*, 2001). Sur la base de ces seuls éléments, on peut déduire que l'Ontario dispose d'une capacité élevée à s'adapter de manière effective au changement climatique. La mise en œuvre de cette capacité dépendra des individus, de l'industrie, des collectivités, des institutions et de l'intégration par les pouvoirs publics du changement climatique – en même temps que d'autres facteurs importants – dans le processus de prise de décisions. On relève cependant des différences importantes dans les capacités d'adaptation d'une sous-région à l'autre et entre les différents secteurs d'activité. Il est également possible que certains changements du climat se manifestent trop rapidement pour permettre une adaptation effective des écosystèmes, des systèmes sociaux et de l'industrie. À défaut de décisions bien informées au moment de la planification de l'adaptation, décisions incidemment rendues possibles par une meilleure compréhension des vulnérabilités actuelles, de l'ampleur des changements futurs attendus et de leurs moments de survenue, on peut craindre un recours à des mesures inadéquates ou une mauvaise adaptation, situation qui aurait pour conséquence involontaire d'accroître les vulnérabilités au changement climatique.

Le présent chapitre sert à présenter une évaluation des problèmes les plus importants que le changement climatique fera vraisemblablement surgir en Ontario. Le chapitre s'articule en quatre sections. Après l'introduction, la section 2 propose un tour d'horizon des principaux facteurs environnementaux, démographiques et économiques actuels et futurs qui conditionnent la vulnérabilité au changement climatique. La section 3 présente l'état des connaissances actuelles sur les sensibilités au climat, les impacts climatiques et la capacité d'adaptation des trois sous-régions (décrites ci-dessous; *voir* la figure 1), et met en lumière les risques et, lorsqu'on dispose d'informations suffisantes, les possibilités que peut offrir un climat en évolution. La section 4 offre une synthèse des résultats pour l'ensemble des sous-régions, et identifie les domaines pouvant présenter les problèmes les plus préoccupants. L'analyse se penche sur les risques sociaux, économiques et environnementaux auxquels les Ontariens se trouvent confrontés du fait des impacts du changement climatique, à l'échelle des régions, des secteurs et des collectivités. Elle propose également une analyse des facteurs susceptibles d'aggraver le degré de vulnérabilité aux modifications futures du climat ainsi que le rôle des institutions dans le renforcement de la capacité d'adaptation et, enfin, examine le besoin d'intégrer l'adaptation au changement climatique dans les processus de planification à long terme. On a illustré différents aspects de la gestion du risque climatique à l'aide d'études de cas.

FIGURE 1 : Les trois sous-régions de l'Ontario dont il est question dans le présent chapitre (*extrait modifié tiré de* Ressources naturelles Canada, 2002).

La plupart des travaux publiés depuis la dernière évaluation nationale, l'*Étude pancanadienne* (*voir* le chapitre 1; Smith *et al*, 1998), ont porté sur les répercussions biophysiques, en accordant une place moindre aux impacts sociaux et économiques et à la capacité d'adaptation. Certaines lacunes importantes identifiées dans l'*Étude pancanadienne* persistent à ce jour, notamment en ce qui concerne certains secteurs (p. ex., le secteur minier), sous-régions (p. ex., le Nord), collectivités (p. ex., collectivités de Premières nations) et phénomènes extrêmes (p. ex., sinistres couverts ou non par une assurance). La plupart des recherches portent sur les impacts négatifs du changement climatique. De ce fait, les impacts positifs (bénéfices) peuvent ne pas être bien compris. Indiscutablement, tout comme il faudra s'adapter pour réduire au minimum les impacts négatifs, il faudra également le faire pour tirer avantage efficacement des possibilités que le changement climatique pourrait présenter pour l'Ontario.

Aux fins de la présente évaluation, l'Ontario a été subdivisé en trois sous-régions en fonction de certaines caractéristiques physiographiques, sociales et économiques (*voir* la figure 1 et l'encadré 1). Cette structure permet de faire ressortir le fait que les impacts les plus préoccupants, et la capacité à s'y adapter, varient d'une sous-région à l'autre de la province, ce qui exige, selon toute vraisemblance, l'adoption de mesures d'adaptation tenant compte des circonstances particulières à chaque sous-région.

La sous-région sud s'étend vers l'est, à partir de la pointe la plus méridionale du territoire canadien, jusqu'à la frontière du Québec. Elle est bordée au sud et à l'ouest par les lacs Huron, Érié et Ontario et par le Saint-Laurent, et au nord par le Bouclier précambrien de la sous-région centrale. La sous-région sud est la plus densément peuplée du Canada; elle contient en effet huit des seize agglomérations urbaines les plus peuplées, dont sa plus grande ville, Toronto. La topographie de cette sous-région s'étage des reliefs les plus plats, dans le sud-ouest et le sud-est, aux reliefs plus accidentés de l'escarpement du Niagara, la majeure partie du paysage naturel de cette région ayant été modifiée pour les besoins de l'aménagement urbain, des réseaux de transport et de l'agriculture. Bien que les Grands Lacs se situent aussi bien en bordure du territoire de la sous-région sud que de celle du centre, on les a considérés, aux fins du présent chapitre, comme composant un système unique faisant partie de la sous-région sud.

La sous-région centrale, occupant plus de la moitié du territoire de la province, est dominée par les massifs boisés recouvrant le Bouclier précambrien, aux abondantes richesses minérales. On y trouve un certain nombre de villes de taille moyenne, comme Sudbury et Thunder Bay, mais cette sous-région se caractérise plutôt par de vastes espaces faiblement peuplés. Des collectivités tributaires de l'industrie primaire, de l'exploitation minière et forestière, et du tourisme se répartissent principalement le long des voies de transport principales. Cette sous-région renferme la grande majorité des collectivités qui dépendent de la forêt et des mines. Les deux tiers du réseau autoroutier de l'Ontario, qui, avec les lignes de chemin de fer, relie l'est et l'ouest du Canada, se trouvent dans cette sous-région.

ENCADRÉ 1

Sous-régions de l'Ontario retenues aux fins de la présente analyse

SUD

Principaux écosystèmes : plaines à forêts mixtes et Grands Lacs; renferme 40 p. 100 des espèces menacées du Canada

Comprend : Windsor, London, Kitchener-Waterloo, Hamilton, Niagara Falls, Toronto, Peterborough, Kingston, Ottawa, Orillia, Barrie, Owen Sound

Économie : secteur des services, industrie manufacturière, tourisme, agriculture

CENTRE

Principal écosystème : Bouclier boréal

Comprend : Pembroke, North Bay, Sudbury, Sault-Sainte-Marie, Timmins, Cochrane, Thunder Bay, Kenora, Armstrong, Sioux Lookout, Huntsville, Red Lake, Pickle Lake

Économie : foresterie et exploitation minière, secteur des services, tourisme, transports

NORD

Principaux écosystèmes : Bouclier boréal, Plaines hudsoniennes, baie d'Hudson-baie James (maritime); les marais littoraux abritent 50 p. 100 de la population de bernaches cravant pendant la migration, et assurent une halte migratoire pour plus de 2,5 millions d'oies des neiges.

Comprend : Moosonee, Kashechewan, Attawapiskat, Fort Severn, Sandy Lake

Économie : exploitation minière, pêche, foresterie, tourisme, activités de subsistance

La sous-région nord s'étend de la limite nord de la sous-région centrale jusqu'aux rivages de la baie d'Hudson et de la baie James. Elle est faiblement peuplée, principalement par de petites collectivités autochtones affiliées à la Première nation Nishnawbe-Aski. La partie septentrionale du territoire de cette sous-région se caractérise par la présence de pergélisol continu ou discontinu. Le terrain essentiellement plat et mal drainé constitue un habitat crucial pour les oiseaux migrateurs. Cette sous-région dépend de son réseau de plus de 3 000 km de routes d'hiver pour assurer l'approvisionnement de nombreuses collectivités éloignées, pour lesquelles le transport aérien est la seule voie d'accès ouverte toute l'année.

2 CONTEXTE RÉGIONAL : CONDITIONS ACTUELLES ET FUTURES

La présente section propose un tour d'horizon de plusieurs facteurs qui conditionnent la vulnérabilité au changement climatique en Ontario, dont les nombreux facteurs d'ordre non climatique qui agissent sur la capacité d'adaptation, notamment le profil démographique, les facteurs déterminant la santé humaine, les activités économiques et la capacité institutionnelle. On y insiste particulièrement sur les populations jugées vulnérables au changement climatique ainsi que sur les facteurs considérés comme essentiels à la poursuite du développement économique. Les tendances passées et les projections futures du climat fournissent le contexte nécessaire pour estimer à quel point les modifications liée au degré d'exposition sont susceptibles d'avoir une incidence sur la vulnérabilité.

2.1 SITUATION DÉMOGRAPHIQUE ET ÉTAT DE LA SANTÉ

Au cours des 20 dernières années, la population de l'Ontario s'est accrue de près de 3,3 millions d'habitants pour atteindre plus de 12,5 millions de personnes. Cette croissance s'est concentrée dans les centres urbains, en particulier la région du Grand Toronto (RGT), la région de Kitchener-Waterloo-Cambridge, la région de Hamilton et Niagara, et Ottawa (Statistique Canada, 2002). Près de 85 p. 100 de la population de l'Ontario habite en zone urbaine, en raison d'un exode rural ininterrompu. Sur les quelque 250 000 immigrants que reçoit le Canada tous les ans, près de la moitié choisissent la RGT comme première destination (McIsaac, 2003). Les sous-régions centrale et nord de la province sont, quant à elles, généralement caractérisées par un dépeuplement de leurs zones rurales. Bien que les populations de certaines collectivités éloignées et tributaires de l'industrie primaire soient démographiquement stables, d'autres connaissent sur ce plan un déclin sensible (*voir* le tableau 1), et cette tendance devrait se poursuivre.

TABLEAU 1 : Municipalités de l'Ontario comptant plus de 5 000 habitants et où les baisses démographiques sont les plus rapides, entre 1996 et 2001 (*tiré de* Statistique Canada, 2003a).

Collectivité	Population		Changement (p. 100)
	1996	2001	
Greenstone	6530	5662	-13,3
Kirkland Lake	9905	8616	-13,0
Elliot Lake	13 588	11 956	-12,0
Iroquois Falls	5714	5217	-8,7
Timmins	47 499	43 686	-8,0
Kapuskasing	10 036	9238	-8,0

On trouve des collectivités autochtones dans toute la province. En 2001, 1,7 p. 100 de la population de la province était autochtone; Plus de 70 p. 100 de cette population était constituée de Premières nations, tandis que les Inuits et les Métis ne représentaient respectivement que moins de 1 p. 100 et environ 27 p. 100 de l'ensemble de la population autochtone. En Ontario, 78 p. 100 des Autochtones vivent hors réserves, un grand nombre d'entre eux ayant choisi d'habiter dans les zones de recensement du Grand Toronto (Statistique Canada, 2006a).

De manière générale, la population de l'Ontario jouit d'une bonne santé, comparativement à la moyenne canadienne et à celles d'autres pays. L'espérance de vie moyenne — un indicateur largement utilisé de l'état de santé — en Ontario est constamment supérieure à la moyenne nationale (Comité fédéral-provincial-territorial sur la santé de la population, 1999). On conserve cependant des différences sensibles à cet égard entre les différentes catégories de population. Les populations urbaines, notamment dans la RGT et sa périphérie, sont plus souvent en meilleure santé que les populations vivant en milieu rural (Altmayer *et al.*, 2003). Les femmes, et en particulier les femmes autochtones, sont davantage exposées aux risques sanitaires en milieu rural en raison des conditions sociales et environnementales, des comportements sanitaires et de l'accès aux soins (Conseil ontarien des services de santé pour les femmes, 2002; Grace, 2002). Des études ont montré que la santé des femmes, des enfants et des jeunes tend à être moins bonne dans les sous-régions centrale et nord, comparativement à la sous-région sud (Northern Ontario Perinatal and Child Health Survey Consortium, 2002; Haque *et al.*, 2006).

Les projections démographiques pour 2031 (ministère des Finances de l'Ontario, 2006) sont les suivantes :

- La population de l'Ontario va croître de 31 p. 100, donnant un total de 16,4 millions d'habitants, et cette croissance devrait s'avérer relativement stable, soit de 140 000 à 160 000 personnes par année.
- Dans la sous-région sud, plus de 60 p. 100 de la croissance aura lieu dans la RGT, dont la population devrait passer de 5,8 millions en 2005 à plus de 8 millions d'ici à 2031. On prévoit également que la population du reste de la sous-région sud passera de 6 millions d'habitants en 2005 à plus de 7,5 millions d'ici à 2031.
- Les projections démographiques pour les sous-régions centrale et nord de l'Ontario affichent une baisse démographique de 7,4 p. 100, faisant passer le chiffre de population de 810 000 environ en 2005 à un chiffre inférieur à 750 000 d'ici à 2031.

La population de l'Ontario sera également sujette au vieillissement au cours des deux décennies à venir, ce qui se traduira par une répartition des âges différente (*voir* la figure 2) et par des taux de dépendance plus élevés (rapport des enfants de moins de 15 ans et

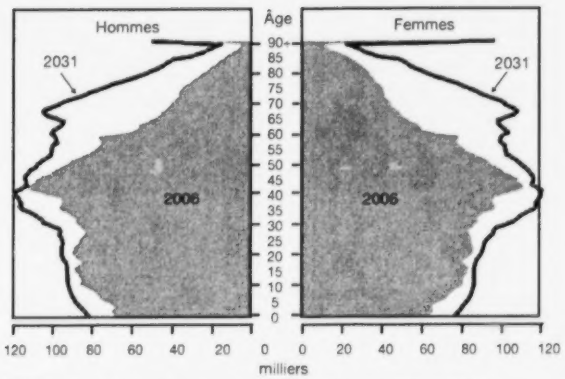


FIGURE 2 : Pyramides des âges pour l'Ontario en 2006 et 2031 (ministère des Finances de l'Ontario, 2006).

des personnes de plus de 65 ans à la population en âge de travailler). Cependant, on note des exceptions à cette tendance, en particulier dans les collectivités les plus septentrionales des Premières nations, où on prévoit un rajeunissement de la population, ainsi que chez les immigrants, dont la moyenne d'âge tend à être considérablement plus basse que celle des résidents établis de plus longue date en Ontario (ministère des Finances de l'Ontario, 2006).

2.2 POUVOIRS PUBLICS ET INSTITUTIONS

En Ontario, les trois niveaux d'administration jouent un rôle fondamental dans le modelage du paysage social, économique et institutionnel de la province, et de ce fait conditionnent très largement la capacité de la région à s'adapter au changement climatique. Le système de gouvernance est fortement intégré et complexe, car il combine des organismes et des intervenants officiels et officieux, ce qui, dans certains cas, se traduit par des responsabilités mal définies. Un grand nombre de secteurs qui seront touchés par le changement climatique, tels que la gestion des ressources naturelles, la production et l'acheminement de l'électricité, et la prestation des services de soins de santé, relèvent de l'autorité provinciale. Les municipalités appliquent et font respecter les politiques nationales et provinciales, assurent des services essentiels comme l'approvisionnement en eau potable et jouent un rôle important en matière de planification de l'aménagement du territoire. L'élaboration de normes et de directives nationales, la question des questions transfrontalières et la prestation des services essentiels aux collectivités autochtones sont de juridiction fédérale.

2.3 CROISSANCE ÉCONOMIQUE ET DÉVELOPPEMENT

La croissance économique en Ontario a été relativement forte au cours des deux dernières décennies, avec des taux annuels de croissance du PIB proches de 3,0 p. 100 (ministère des Finances de l'Ontario, 2005). On prévoit un ralentissement de la croissance économique, qui devrait baisser à 2,3 p. 100, mais rester forte jusqu'en 2025. L'économie de l'Ontario, auparavant basée sur le secteur manufacturier, est désormais de plus en plus axée sur le secteur des services, et cette tendance devrait se poursuivre. Cependant, la productivité manufacturière a augmenté, et l'on s'attend à voir ce secteur conserver un rôle important dans l'économie, en particulier dans le sud (ministère des Finances de l'Ontario, 2005). Les transports continuent de dominer le secteur manufacturier; viennent ensuite le secteur alimentaire, la pétrochimie, l'industrie métallurgique primaire et la filière forestière et papetière. L'activité et la croissance économiques varient selon les régions, et les secteurs de l'agriculture et de l'industrie primaire demeureront importants dans les régions rurales. De nombreuses collectivités ontariennes tirent 30 p. 100 ou davantage de leurs revenus d'emploi des secteurs de l'industrie primaire, principalement l'agriculture et la foresterie (*voir* la figure 3).

En 2004, l'Ontario possédait l'industrie du tourisme la plus florissante du Canada, cette dernière apportant une contribution au PIB provincial supérieure à celles combinées de l'agriculture, de la forêt, de la pêche et de la chasse commerciales et de l'exploitation minière; le tourisme employait 3,3 p. 100 de la population active de la province (ministère du Tourisme de l'Ontario, 2006). Le tourisme a gagné en importance dans de nombreuses régions rurales non agricoles, et certaines collectivités sont à présent fortement dépendantes de ce secteur. Grâce à l'industrialisation de l'agriculture, le nombre d'exploitations agricoles continue de décroître, leur productivité, de croître et les activités agricoles traditionnelles, à occuper de moins en moins d'espace. En 2001, on recensait 186 000 personnes vivant de l'exploitation de 60 000 fermes dispersées sur le territoire de l'Ontario, soit respectivement un recul de 11 p. 100 et 15 p. 100 par rapport à 1996 (Statistique Canada, 2003b). Certaines zones agricoles ont connu des changements considérables sous l'effet de facteurs non climatiques dont, notamment, le déclin rapide de l'industrie du tabac dans le quart sud-ouest de la sous-région sud et le remplacement de la culture des arbres fruitiers (pêchers, cerisiers) par les vignes (et les activités vinicoles connexes) dans la région de Niagara. Les cultivateurs ont adopté des pratiques de gestion plus écologique

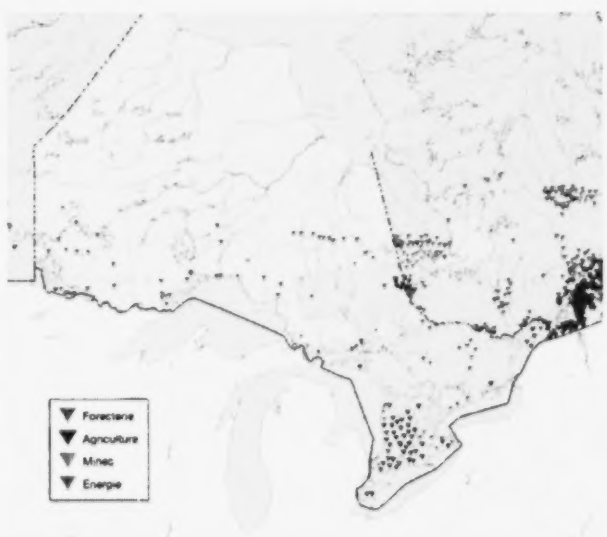


FIGURE 3 : Collectivités de l'Ontario tributaires à plus de 30 p. 100 du secteur primaire (Ressources naturelles Canada, 2001).

susceptibles de favoriser la durabilité de leurs exploitations. Toutefois, le vieillissement rapide de la population agricole dans ce secteur (Statistique Canada, 2003b) exerce une pression importante sur ce dernier.

De nombreuses collectivités des sous-régions centrale et nord continueront d'exploiter les ressources naturelles, tirant leur subsistance de la forêt, des pâtes et papiers et de l'exploitation minière, tandis que de nombreuses collectivités autochtones trouvent dans la chasse, le piégeage et l'agriculture des moyens de compenser les coûts élevés des produits alimentaires non traditionnels. Les collectivités autochtones de l'ensemble de la province maintiennent des modes de vie qui sont fortement liés au milieu naturel. Le territoire de la bande de Walpole Island, dans la sous-région sud, englobe certaines des zones les plus diversifiées du Canada sur le plan biologique qui permettent la pratique des activités traditionnelles de cueillette, de chasse, de pêche et de piégeage, de concert avec le maintien d'une importante économie de marché fondée sur le tourisme et les loisirs (Resource Futures International, 2004).

2.4 ÉNERGIE – PRODUCTION, TRANSPORT ET DEMANDE

Les perspectives socio-économiques de l'Ontario sont très étroitement liées à la disponibilité d'une source stable d'énergie requise par les secteurs industriel et commercial, et pour les besoins résidentiels. À l'heure actuelle, la capacité installée est d'environ 30 000 mégawatts (MW) et comprend une palette de sources d'énergie (nucléaire, charbon, gaz naturel et renouvelables) qui assurent chacune la production d'une proportion variable de l'électricité (*voir* la figure 4). Un vaste réseau de transport de l'électricité dessert les régions peuplées de la province, tandis que les collectivités du nord situées hors du réseau produisent leur propre électricité. Au cours de la dernière décennie, le système de fourniture d'électricité a subi deux catastrophes : une grave tempête de verglas qui s'est abattue en 1998 sur la majeure partie du sud-est de l'Ontario, du Québec et du Nouveau-Brunswick, et une panne de courant qui a touché en août 2003 la plus grande partie de l'Ontario et le nord-est des États-Unis. La plupart des agglomérations urbaines sont bien alimentées en gaz naturel, tandis que les marchés ruraux du centre et du nord utilisent surtout des carburants de rechange (en plus de l'électricité), comme le gaz propane, le bois et le diesel. La majeure partie du réseau de transport électrique de l'Ontario a plus de 50 ans, et les infrastructures municipales de distribution sont aériennes et, donc, exposées aux éléments dans les vieux quartiers bien établis, et souterraines dans les nouveaux quartiers de banlieues et les centres commerciaux d'aménagement récent.

La société indépendante d'exploitation du réseau d'électricité (Independent Electricity System Operator, ou IESO) prévoit qu'en l'absence de stratégies de conservation de l'énergie la consommation d'énergie passera de 157 térawattheures (TWh) en 2006 à 170 TWh environ en 2015, soit une croissance annuelle moyenne de 0,9 p.100 (Independent Electricity System Operator, 2005). Cependant, des mesures d'économie d'énergie et d'efficacité énergétique pourraient maintenir l'équilibre de l'offre et de la demande d'énergie, malgré l'augmentation de la population (Gibbons et Fracassi, 2005; ICF Consulting, 2005, 2006). Un réseau électrique stable doit pouvoir répondre aux pointes de consommation. La demande d'électricité en Ontario atteint son point culminant désormais durant les mois d'été en raison de l'usage accru de climatiseurs et d'autres dispositifs du genre pendant les vagues de chaleur, tandis que des températures hivernales plus douces, une meilleure efficacité énergétique et l'usage plus répandu du gaz naturel pour le chauffage résidentiel ont fait baisser la demande de pointe en hiver. Les prévisions du IESO font état d'une augmentation de 11 p.100 des appels de puissance de pointe dans des conditions météorologiques normales, qui, selon le degré de succès des mesures d'économie d'énergie et d'efficacité énergétique adoptées, devraient passer de 24 200 MW en 2006 à 26 900 MW pendant l'été 2015, voire 30 000 MW dans le cas de conditions météorologiques extrêmes (*voir* la figure 5). La limite supérieure de ces projections correspond aux hivers froids et aux étés chauds, tandis que leur limite inférieure correspond à des hivers cléments et à des étés frais. Le changement climatique n'est pas pris en considération dans ces prévisions. De nouveaux records de demande ont été atteints au cours des étés 2005 (26 160 MW le 13 juillet) et 2006 (27 005 MW le 1er août) à cause, en partie, de vagues de chaleur prolongées et de températures nocturnes extrêmement élevées (Independent Electricity System Operator, 2006).

Pendant la majeure partie de la dernière décennie, le gouvernement de l'Ontario a étudié les moyens d'éliminer progressivement les centrales thermiques alimentées au charbon. Un engagement d'éliminer d'ici à 2014 une tranche de 6 500 MW de la production de ce type de centrale a été pris. S'il est respecté, il en résultera un déficit de l'offre par rapport à la demande qui devra être comblé par

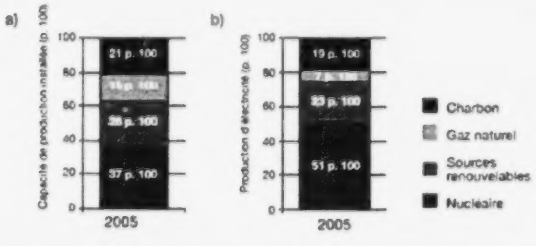


FIGURE 4 : Système électrique de l'Ontario en 2005 (Ontario Power Authority, 2005) : a) capacité de production en place et b) production d'électricité.

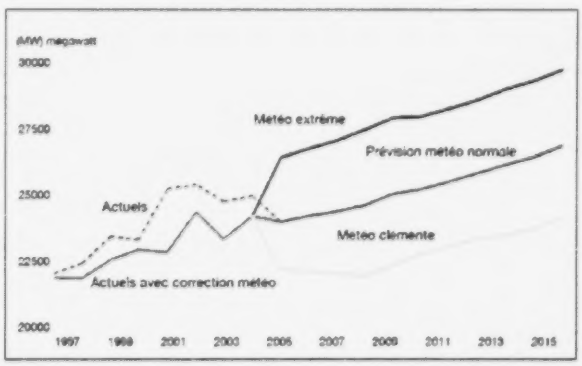


FIGURE 5 : Prévisions de la demande de pointe horaire selon trois scénarios météorologiques (Independent Electricity System Operator, 2005).

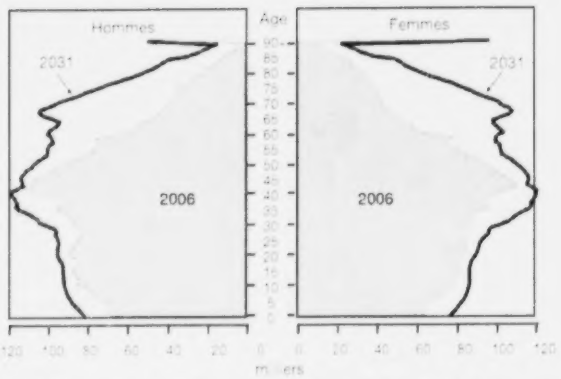


FIGURE 2 : Pyramides des âges pour l'Ontario en 2006 et 2031 (ministère des Finances de l'Ontario, 2006).

des personnes de plus de 65 ans à la population en âge de travailler). Cependant, on note des exceptions à cette tendance, en particulier dans les collectivités les plus septentrionales des Premières nations, où on prévoit un rajeunissement de la population, ainsi que chez les immigrants, dont la moyenne d'âge tend à être considérablement plus basse que celle des résidents établis de plus longue date en Ontario (ministère des Finances de l'Ontario, 2006).

2.2 POUVOIRS PUBLICS ET INSTITUTIONS

En Ontario, les trois niveaux d'administration jouent un rôle fondamental dans le modelage du paysage social, économique et institutionnel de la province, et de ce fait conditionnent très largement la capacité de la région à s'adapter au changement climatique. Le système de gouvernance est fortement intégré et complexe, car il combine des organismes et des intervenants officiels et officieux, ce qui, dans certains cas, se traduit par des responsabilités mal définies. Un grand nombre de secteurs qui seront touchés par le changement climatique, tels que la gestion des ressources naturelles, la production et l'acheminement de l'électricité, et la prestation des services de soins de santé, relèvent de l'autorité provinciale. Les municipalités appliquent et font respecter les politiques nationales et provinciales, assurent des services essentiels comme l'approvisionnement en eau potable et jouent un rôle important en matière de planification de l'aménagement du territoire. L'élaboration de normes et de directives nationales, la question des questions transfrontalières et la prestation des services essentiels aux collectivités autochtones sont de juridiction fédérale.

2.3 CROISSANCE ÉCONOMIQUE ET DÉVELOPPEMENT

La croissance économique en Ontario a été relativement forte au cours des deux dernières décennies, avec des taux annuels de croissance du PIB proches de 3,0 p. 100 (ministère des Finances de l'Ontario, 2005). On prévoit un ralentissement de la croissance économique, qui devrait baisser à 2,3 p. 100, mais rester forte jusqu'en 2025. L'économie de l'Ontario, auparavant basée sur le secteur manufacturier, est désormais de plus en plus axée sur le secteur des services, et cette tendance devrait se poursuivre. Cependant, la productivité manufacturière a augmenté, et l'on s'attend à voir ce secteur conserver un rôle important dans l'économie, en particulier dans le sud (ministère des Finances de l'Ontario, 2005). Les transports continuent de dominer le secteur manufacturier; viennent ensuite le secteur alimentaire, la pétrochimie, l'industrie métallurgique primaire et la filière forestière et papetière. L'activité et la croissance économiques varient selon les régions, et les secteurs de l'agriculture et de l'industrie primaire demeureront importants dans les régions rurales. De nombreuses collectivités ontariennes tirent 30 p. 100 ou davantage de leurs revenus d'emploi des secteurs de l'industrie primaire, principalement l'agriculture et la foresterie (*voir* la figure 3).

En 2004, l'Ontario possédait l'industrie du tourisme la plus florissante du Canada, cette dernière apportant une contribution au PIB provincial supérieure à celles combinées de l'agriculture, de la forêt, de la pêche et de la chasse commerciales et de l'exploitation minière; le tourisme employait 3,3 p. 100 de la population active de la province (ministère du Tourisme de l'Ontario, 2006). Le tourisme a gagné en importance dans de nombreuses régions rurales non agricoles, et certaines collectivités sont à présent fortement dépendantes de ce secteur. Grâce à l'industrialisation de l'agriculture, le nombre d'exploitations agricoles continue de décroître, leur productivité, de croître et les activités agricoles traditionnelles, à occuper de moins en moins d'espace. En 2001, on recensait 186 000 personnes vivant de l'exploitation de 60 000 fermes dispersées sur le territoire de l'Ontario, soit respectivement un recul de 11 p. 100 et 15 p. 100 par rapport à 1996 (Statistique Canada, 2003b). Certaines zones agricoles ont connu des changements considérables sous l'effet de facteurs non climatiques dont, notamment, le déclin rapide de l'industrie du tabac dans le quart sud-ouest de la sous-région sud et le remplacement de la culture des arbres fruitiers (pêchers, cerisiers) par les vignes (et les activités vinicoles connexes) dans la région de Niagara. Les cultivateurs ont adopté des pratiques de gestion plus écologique

FIGURE 3 : Collectivités de l'Ontario tributaires à plus de 30 p. 100 du secteur primaire (Ressources naturelles Canada, 2001).

susceptibles de favoriser la durabilité de leurs exploitations. Toutefois, le vieillissement rapide de la population agricole dans ce secteur (Statistique Canada, 2003b) exerce une pression importante sur ce dernier.

De nombreuses collectivités des sous-régions centrale et nord continueront d'exploiter les ressources naturelles, tirant leur subsistance de la forêt, des pâtes et papiers et de l'exploitation minière, tandis que de nombreuses collectivités autochtones trouvent dans la chasse, le piégeage et l'agriculture des moyens de compenser les coûts élevés des produits alimentaires non traditionnels. Les collectivités autochtones de l'ensemble de la province maintiennent des modes de vie qui sont fortement liés au milieu naturel. Le territoire de la bande de Walpole Island, dans la sous-région sud, englobe certaines des zones les plus diversifiées du Canada sur le plan biologique qui permettent la pratique des activités traditionnelles de cueillette, de chasse, de pêche et de piégeage, de concert avec le maintien d'une importante économie de marché fondée sur le tourisme et les loisirs (Resource Futures International, 2004).

2.4 ÉNERGIE – PRODUCTION, TRANSPORT ET DEMANDE

Les perspectives socio-économiques de l'Ontario sont très étroitement liées à la disponibilité d'une source stable d'énergie requise par les secteurs industriel et commercial, et pour les besoins résidentiels. À l'heure actuelle, la capacité installée est d'environ 30 000 mégawatts (MW) et comprend une palette de sources d'énergie (nucléaire, charbon, gaz naturel et renouvelables) qui assurent chacune la production d'une proportion variable de l'électricité (*voir* la figure 4). Un vaste réseau de transport de l'électricité dessert les régions peuplées de la province, tandis que les collectivités du nord situées hors du réseau produisent leur propre électricité. Au cours de la dernière décennie, le système de fourniture d'électricité a subi deux catastrophes : une grave tempête de verglas qui s'est abattue en 1998 sur la majeure partie du sud-est de l'Ontario, du Québec et du Nouveau-Brunswick, et une panne de courant qui a touché en août 2003 la plus grande partie de l'Ontario et le nord-est des États-Unis. La plupart des agglomérations urbaines sont bien alimentées en gaz naturel, tandis que les marchés ruraux du centre et du nord utilisent surtout des carburants de rechange (en plus de l'électricité), comme le gaz propane, le bois et le diesel. La majeure partie du réseau de transport électrique de l'Ontario a plus de 50 ans, et les infrastructures municipales de distribution sont aériennes et, donc, exposées aux éléments dans les vieux quartiers bien établis, et souterraines dans les nouveaux quartiers de banlieues et les centres commerciaux d'aménagement récent.

La société indépendante d'exploitation du réseau d'électricité (Independent Electricity System Operator, ou IESO) prévoit qu'en l'absence de stratégies de conservation de l'énergie la consommation d'énergie passera de 157 térawattheures (TWh) en 2006 à 170 TWh environ en 2015, soit une croissance annuelle moyenne de 0,9 p. 100 (Independent Electricity System Operator, 2005). Cependant, des mesures d'économie d'énergie et d'efficacité énergétique pourraient maintenir l'équilibre de l'offre et de la demande d'énergie, malgré l'augmentation de la population (Gibbons et Fracassi, 2005; ICF Consulting, 2005, 2006). Un réseau électrique stable doit pouvoir répondre aux pointes de consommation. La demande d'électricité en Ontario atteint son point culminant désormais durant les mois d'été en raison de l'usage accru de climatiseurs et d'autres dispositifs du genre pendant les vagues de chaleur, tandis que des températures hivernales plus douces, une meilleure efficacité énergétique et l'usage plus répandu du gaz naturel pour le chauffage résidentiel ont fait baisser la demande de pointe en hiver. Les prévisions du IESO font état d'une augmentation de 11 p. 100 des appels de puissance de pointe dans des conditions météorologiques normales, qui, selon le degré de succès des mesures d'économie d'énergie et d'efficacité énergétique adoptées, devraient passer de 24 200 MW en 2006 à 26 900 MW pendant l'été 2015, voire 30 000 MW dans le cas de conditions météorologiques extrêmes (*voir* la figure 5). La limite supérieure de ces projections correspond aux hivers froids et aux étés chauds, tandis que leur limite inférieure correspond à des hivers cléments et à des étés frais. Le changement climatique n'est pas pris en considération dans ces prévisions. De nouveaux records de demande ont été atteints au cours des étés 2005 (26 160 MW le 13 juillet) et 2006 (27 005 MW le 1er août) à cause, en partie, de vagues de chaleur prolongées et de températures nocturnes extrêmement élevées (Independent Electricity System Operator, 2006).

Pendant la majeure partie de la dernière décennie, le gouvernement de l'Ontario a étudié les moyens d'éliminer progressivement les centrales thermiques alimentées au charbon. Un engagement d'éliminer d'ici à 2014 une tranche de 6 500 MW de la production de ce type de centrale a été pris. S'il est respecté, il en résultera un déficit de l'offre par rapport à la demande qui devra être comblé par

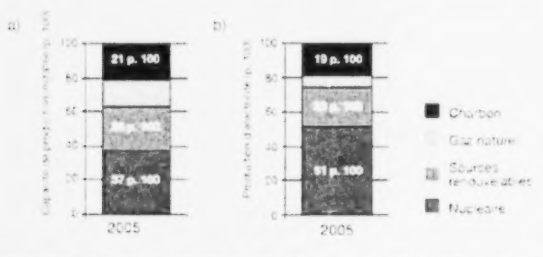


FIGURE 4 : Système électrique de l'Ontario en 2005 (Ontario Power Authority, 2005) : a) capacité de production en place et b) production d'électricité.

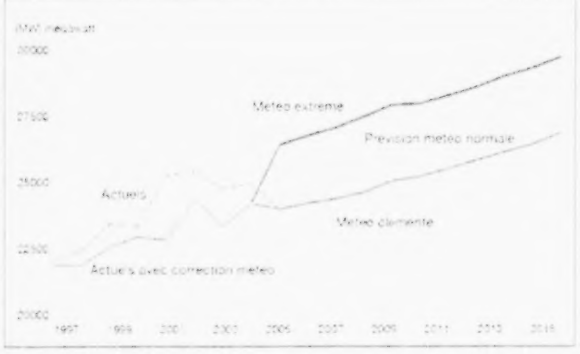


FIGURE 5 : Prévisions de la demande de pointe horaire selon trois scénarios météorologiques (Independent Electricity System Operator, 2005).

une combinaison de sources nouvelles et de mesures d'efficacité énergétique (Assemblée législative de l'Ontario, 2002). Afin de combler ce déficit, le gouvernement de l'Ontario a annoncé, en 2004, la mise en place, au chapitre de la filière des énergies renouvelables, d'une norme (Renewable Portfolio Standard) de 5 p. 100 (1 350 mégawatts) en sources d'énergie renouvelables pour 2007 et de 10 p. 100 (2 700 mégawatts) d'ici à 2010 (Robson et Gruetzner, 2004). Outre le recours aux nouvelles sources dans la province, notamment l'énergie éolienne et hydroélectrique (*voir* les figures 6 et 7), le transport d'énergie à grande distance à partir de grands barrages hydroélectriques du Manitoba, du Québec et de Terre-Neuve est également envisagé. Au cours des 30 dernières années, l'Ontario a fait preuve d'une grande aptitude à appliquer des mesures d'efficacité énergétique et de consommation plus efficiente de l'énergie, et la province pourrait aisément réaliser encore davantage d'économies, aussi bien dans le secteur résidentiel qu'industriel (ICF Consulting, 2005; 2006).

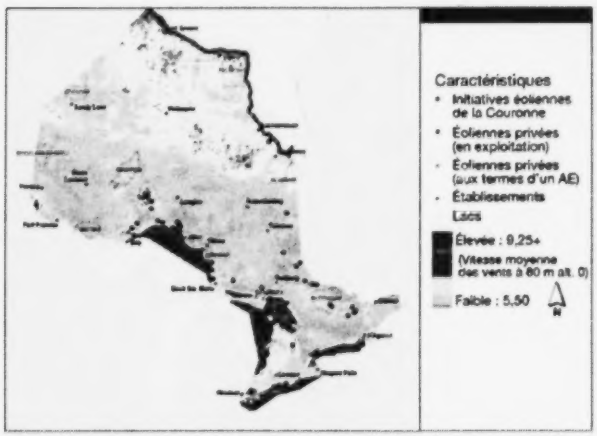


FIGURE 6 : Ressources en énergie éolienne en Ontario (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 2006a).

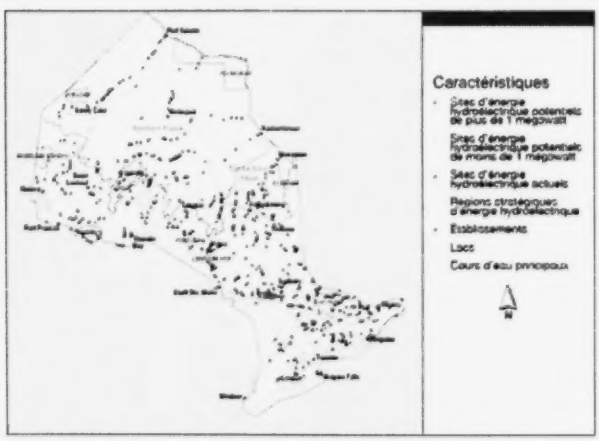


FIGURE 7 : Ressources en énergie hydroélectrique en Ontario (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 2006b).

2.5 TENDANCES ET PRÉVISIONS ATMOSPHÉRIQUES

Le climat et la qualité de l'air de l'Ontario varient beaucoup d'une saison et d'une région de la province à l'autre. Dans la sous-région sud et dans une partie de la sous-région centrale, le climat est fortement influencé par les Grands Lacs, ce qui se traduit par de fortes précipitations en automne et en hiver, une protection contre les grands froids hivernaux et les chaleurs estivales intenses, et d'abondantes chutes de neige dans les régions situées sous le vent des lacs Supérieur et Huron et de la baie Georgienne. Le printemps et l'été comprennent aussi une saison de tornades dans la sous-région sud, région où l'on enregistre la plus grande fréquence de tornades de tout le Canada. En été, des masses stagnantes d'air tropical peuvent entraîner une détérioration de la qualité de l'air, des vagues de chaleur et de la sécheresse, mais on observe parfois également des taux élevés de particules en suspension pendant l'hiver. En automne, les queues d'ouragans produisent parfois des vents forts et des pluies très abondantes. La sous-région nord a des hivers froids et des étés tempérés. Les précipitations y prennent surtout la forme d'averses et d'orages d'été, mais les accumulations de neige en hiver peuvent être importantes. Les basses températures hivernales permettent de construire et d'utiliser des routes d'hiver ou « routes de glace », qui desservent les collectivités et les exploitations minières et forestières commerciales.

L'Ontario connaît divers types de phénomènes météorologiques extrêmes s'accompagnant de catastrophes naturelles. Au printemps, la fonte rapide de la neige et les embâcles peuvent provoquer des inondations, en particulier dans les collectivités nordiques. De grosses tempêtes frappent la plupart des régions de l'Ontario au moins une ou deux fois par an, avec des vents forts, de la pluie, de la pluie verglaçante ou de la neige. Ces dernières années, l'Ontario a connu des phénomènes météorologiques de gravité exceptionnelle, y compris la tempête de verglas de 1998 qui demeure à ce jour la catastrophe naturelle la plus coûteuse de l'histoire du Canada. Au cours de cette tempête, l'est de l'Ontario, le sud-ouest du Québec, le sud du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse, ainsi que des parties du nord-est des États-Unis, ont reçu 80 millimètres ou plus de pluie verglaçante, soit le double de ce qui jusqu'alors n'avait jamais été constaté (Lecomte *et al.*, 1998). Au Canada, cet événement a coûté la vie à 28 personnes et provoqué plus de 5,4 milliards de dollars de dégâts, laissant 250 000 personnes sans électricité en Ontario, certaines pendant 24 jours (Lecomte *et al.*, 1998; Kerry *et al.*, 1999).

Tendances du climat

Au cours de la deuxième moitié du XX^{e} siècle (1948-2005), période pour laquelle on dispose de données pour le nord comme pour le sud du Canada, les moyennes annuelles des températures pour l'ensemble du territoire national ont monté de 1,3 °C (*voir* le chapitre 2; Environnement Canada, 2006a). Pendant la même période, les températures moyennes annuelles pour l'ensemble de l'Ontario ont affiché une hausse de 0 °C à 1,4 °C, les hausses les plus importantes ayant été constatées au printemps.

Un examen des tendances du nombre de journées et de nuits chaudes de 1950 à 2003 révèle que la plus grande augmentation du nombre de journées chaudes a eu lieu dans la sous-région nord (*voir* la figure 8). Au cours de la même période, on a assisté à une baisse sensible du nombre de journées froides dans le centre et l'ouest de la sous-région nord (Vincent et Mekis, 2005). La baisse la plus notable de l'amplitude quotidienne des températures a été enregistrée dans la sous-région du centre (Vincent et Mekis, 2005).

Les précipitations annuelles dans le sud du Canada ont augmenté de 5 p. 100 à 35 p. 100 environ depuis 1900 (Zhang *et al.*, 2000) et le nombre de journées avec précipitations (pluie et neige) a sensiblement augmenté dans le sud et le centre-sud de l'Ontario. De plus, le nombre de journées avec pluie seulement a été plus élevé dans les sous-régions sud et dans certaines parties des sous-régions centrale et nord (*voir* la figure 9; Bruce *et al.*, 2000; Vincent et Mekis, 2005). Dans certaines régions de la province (p. ex., la vallée de la rivière Maitland, à l'est du lac Huron), les précipitations sont devenues plus variables, les orages de forte intensité étant plus fréquents depuis la fin des années 1950 (Mekis et Hogg, 1999). Les chutes de neige automnales montrent une tendance importante à la hausse dans la sous-région nord, mais diminuent dans la sous-région centrale au printemps et en hiver. La tendance des chutes de neige dans la sous-région sud n'est pas statistiquement différente, bien que les relevés indiquent une augmentation de l'enneigement dans l'ouest de la sous-région et une réduction dans sa partie est (Zhang *et al.*, 2001).

Une augmentation importante des épisodes de neige d'effet de lac a été enregistrée depuis 1915 pour les zones des États-Unis situées du côté sous le vent des Grands Lacs (Burnett *et al.*, 2003). Les fortes chutes de neige d'effet de lac constituent un danger pour les collectivités et les réseaux de transport, et l'accumulation de la neige et sa fonte jouent un rôle important dans l'hydrologie régionale.

Entre 1953 et 2001, le nombre annuel moyen de journées avec pluie verglaçante a varié entre deux et presque dix, les moyennes annuelles les plus élevées ayant été enregistrées à Ottawa, North Bay et Sudbury, et les plus faibles, à Thunder Bay, Kenora et Sioux Lookout. Le risque de pluie verglaçante est resté relativement stable au cours de cette période, avec une tendance à la baisse statistiquement significative à Wiarton et à London, et une légère hausse (non statistiquement significative) dans une grande partie de la sous-région centrale et à Ottawa (Klaassen *et al.*, 2003).

Projections du climat

L'échelle limitée des résultats obtenus des modèles de circulation générale (MCG) ne permet pas de réaliser une analyse exploitable à l'échelle des sous-régions définies aux fins du présent chapitre; la province a donc été subdivisée à cette fin en sections est et ouest. Les projections des changements de la température et des précipitations, issues des essais faits en combinant sept modèles de circulation générale à sept scénarios d'émissions, sont présentées à la figure 10. Ces 49 scénarios offrent une gamme robuste de climats futurs plausibles, exprimés en termes de changements par

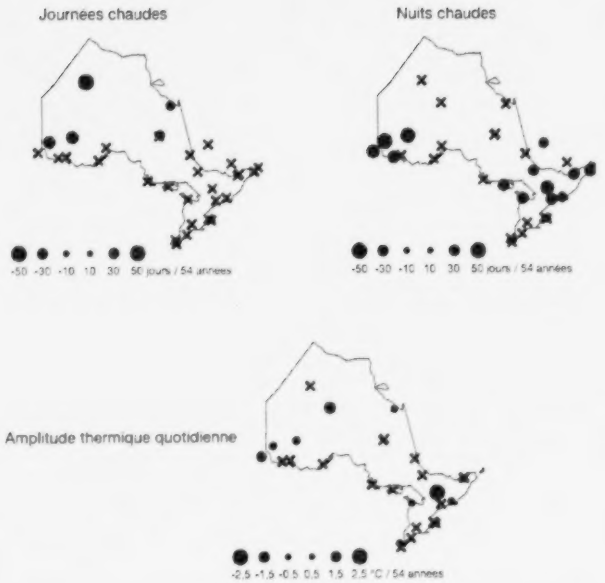


FIGURE 8 : Tendances du nombre des journées et des nuits chaudes, et variation des températures diurnes pour la période de 1950 à 2003 (Vincent et Mekis, 2005). Les pastilles bleues et rouges illustrent des tendances significatives à un niveau de 5 p. 100 et la grosseur des pastilles est proportionnelle à l'ampleur de la tendance. Les croix indiquent des tendances non significatives.

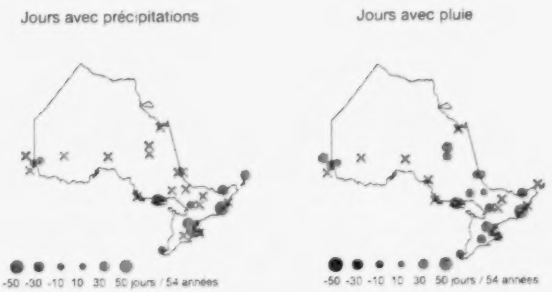
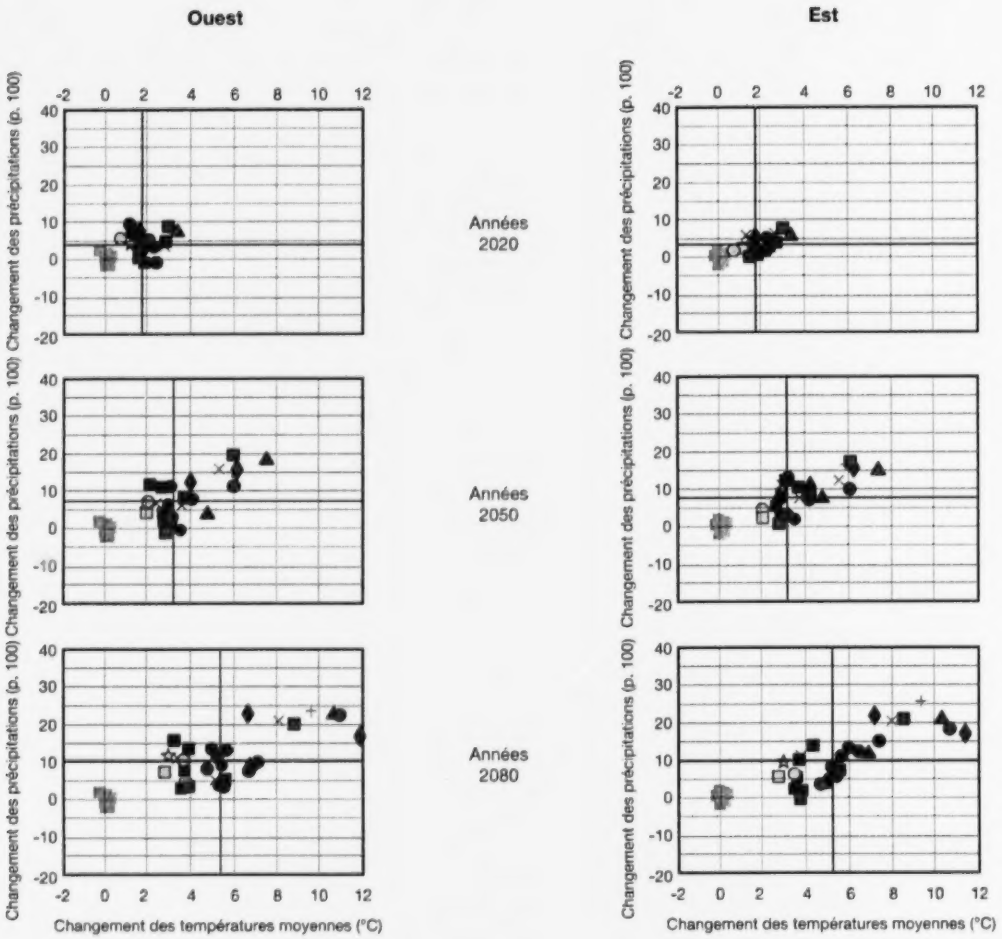


FIGURE 9 : Tendances des indices de précipitations pour la période de 1950 à 2003 (Vincent et Mekis, 2005). Les pastilles brunes et vertes illustrent des tendances significatives à un niveau de 5 p. 100 et la grosseur des pastilles est proportionnelle à l'ampleur de la tendance. Les croix indiquent des tendances non significatives.

rapport aux valeurs moyennes de la période de 1961 à 1990 (*voir* le chapitre 2). Tous les résultats (couvrant une gamme d'hypothèses de nature allant de prudente à audacieuse quant aux futurs taux d'émissions) indiquent une élévation de la température annuelle, et la plupart d'entre eux prévoient également une augmentation des quantités annuelles de précipitations dans les 20 à 50 prochaines années. La plage des résultats s'élargit avec le temps en raison de différences fondamentales entre les scénarios d'émissions d'une part et les différents modèles d'autre part.



Légende		
Modèle de circulation générale		Scénario d'émissions
[illegible]	■	Variabilité naturelle du climat
MCCG2	♦	A1FI
HadCM3	+	A1T
[illegible]	▲	A1
CSIROMk2	★	A1B
ECHAM4	●	A2
[illegible]	×	B1
GFDL-R30	■	B2

FIGURE 10 : Diagrammes de dispersion représentant les changements prévus des températures et des précipitations annuelles moyennes. Les lignes bleues représentent la valeur médiane des changements de la température et des précipitations moyennes déterminée à partir d'un ensemble de scénarios indiqués sur le graphique (*voir* l'annexe 1 du chapitre 2 pour plus de détails).

Les projections saisonnières des scénarios de température (*voir* la figure 11) indiquent que le réchauffement maximal se produira l'hiver dans la sous-région nord. On s'attend également à ce que les changements des températures extrêmement élevées soient plus grands que ceux de la moyenne annuelle (Kharin et Zwiers, 2005). On projette un doublement du nombre des journées où la température dépassera 30 °C dans la sous-région sud d'ici à 2050 (Hengeveld et Whitewood, 2005). Dans une autre étude, le nombre de journées de forte chaleur pourrait tripler dans certaines villes d'ici à 2080 (Cheng *et al.*, 2005).

On constate une plus grande variation dans les projections des précipitations que dans celles des températures, et les augmentations de précipitations les plus importantes sont prévues dans la sous-région nord (*voir* la figure 12). On doit toutefois noter que certaines des projections indiquent une légère baisse (< 2,5 p. 100) des précipitations annuelles pour la majeure partie de la province au cours des 50 années à venir.

Même si les précipitations annuelles totales vont probablement augmenter, des baisses estivales et automnales pouvant atteindre 10 p. 100 sont projetées pour la sous-région du sud d'ici à 2050. L'humidité disponible nette subira l'incidence de températures plus

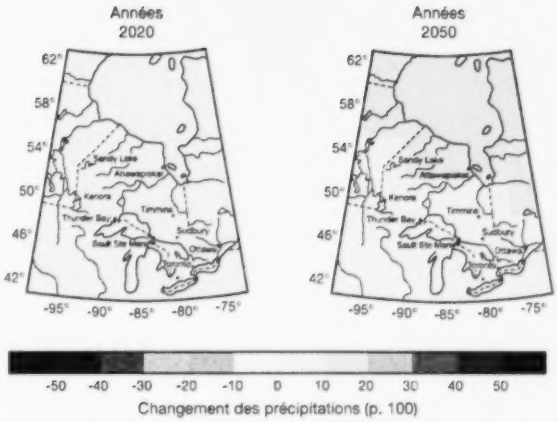


FIGURE 12 : Changement annuel prévu des précipitations (en pourcentage) d'ici aux années 2020 (à gauche) et aux années 2050 (à droite), par rapport aux années de référence 1961 à 1990, basé sur la valeur médiane obtenue pour sept modèles de circulation générale combinés aux scénarios d'émissions présentés dans le rapport spécial sur les scénarios d'émissions (Special Report on Emissions Scenarios, ou SRES).

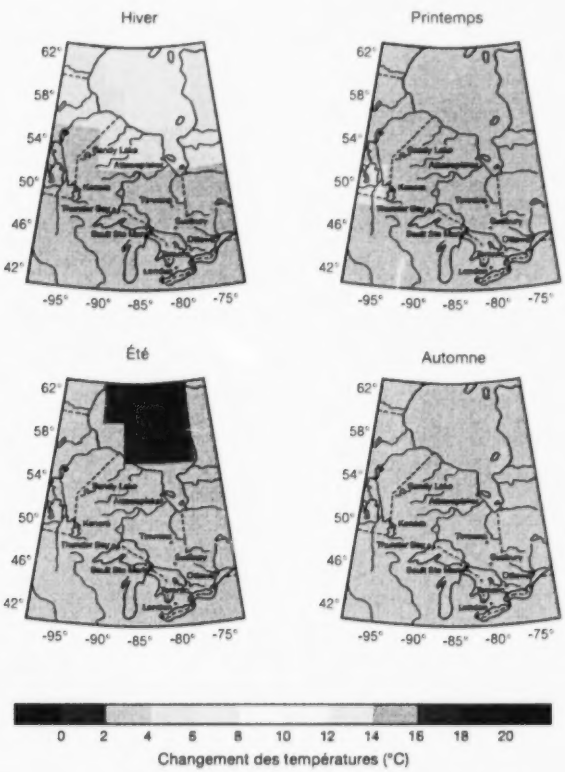


FIGURE 11 : Changement saisonnier prévu des températures d'ici aux années 2050 (par rapport aux années de référence 1961 à 1990), basé sur la valeur médiane obtenue pour sept modèles de circulation générale combinés aux scénarios d'émissions présentés dans le rapport spécial sur les scénarios d'émissions (*Special Report on Emissions Scenarios*, ou SRES).

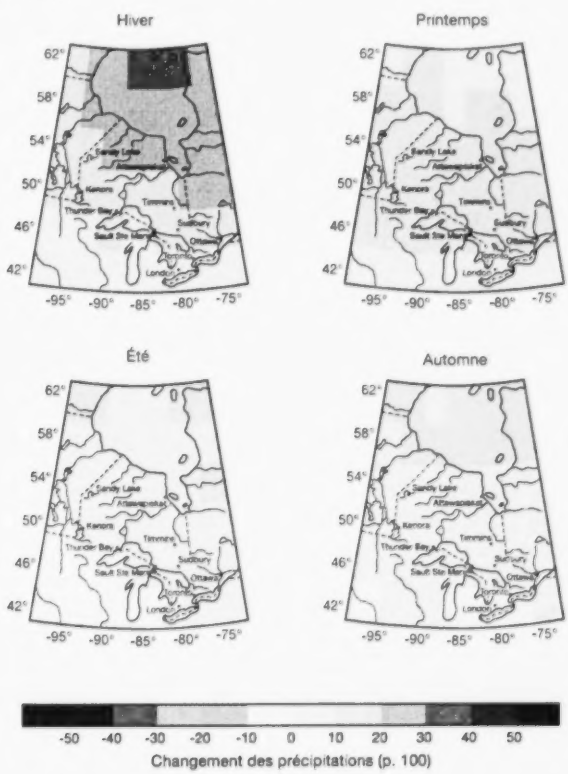


FIGURE 13 : Changement saisonnier des précipitations (enpourcentage) d'ici aux années 2050 (par rapport aux années de référence 1961 à 1990), basé sur la valeur médiane obtenue pour sept modèles de circulation générale combinés aux scénarios d'émissions présentés dans le rapport spécial sur les scénarios d'émissions (*Special Report on Emissions Scenarios* ou SRES).

Les projections saisonnières des scénarios de température (*voir* la figure 11) indiquent que le réchauffement maximal se produira l'hiver dans la sous-région nord. On s'attend également à ce que les changements des températures extrêmement élevées soient plus grands que ceux de la moyenne annuelle (Kharin et Zwiers, 2005). On projette un doublement du nombre des journées où la température dépassera 30 °C dans la sous-région sud d'ici à 2050 (Hengeveld et Whitewood, 2005). Dans une autre étude, le nombre de journées de forte chaleur pourrait tripler dans certaines villes d'ici à 2080 (Cheng *et al.*, 2005).

On constate une plus grande variation dans les projections des précipitations que dans celles des températures, et les augmentations de précipitations les plus importantes sont prévues dans la sous-région nord (*voir* la figure 12). On doit toutefois noter que certaines des projections indiquent une légère baisse (< 2,5 p. 100) des précipitations annuelles pour la majeure partie de la province au cours des 50 années à venir.

Même si les précipitations annuelles totales vont probablement augmenter, des baisses estivales et automnales pouvant atteindre 10 p. 100 sont projetées pour la sous-région du sud d'ici à 2050. L'humidité disponible nette subira l'incidence de températures plus

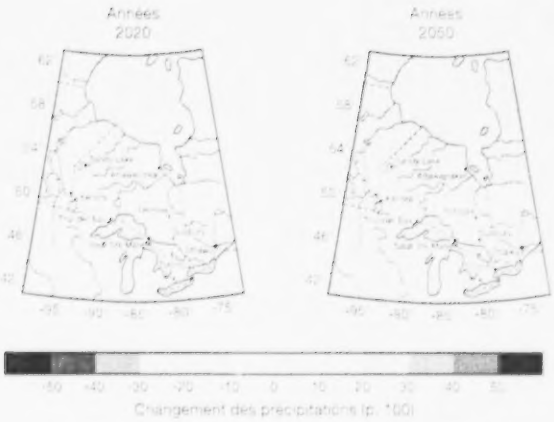


FIGURE 12 : Changement annuel prévu des précipitations (en pourcentage) d'ici aux années 2020 (à gauche) et aux années 2050 (à droite), par rapport aux années de référence 1961 à 1990, basé sur la valeur médiane obtenue pour sept modèles de circulation générale combinés aux scénarios d'émissions présentés dans le rapport spécial sur les scénarios d'émissions (Special Report on Emissions Scenarios, ou SRES).

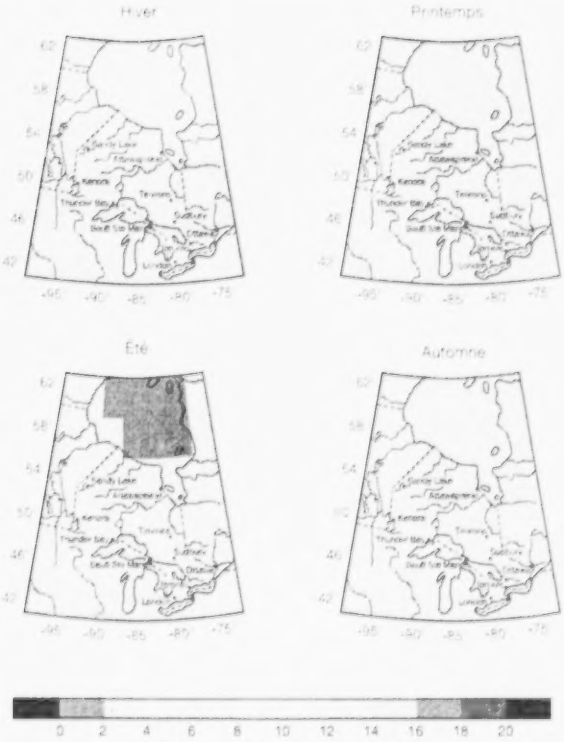


FIGURE 11 : Changement saisonnier prévu des températures d'ici aux années 2050 (par rapport aux années de référence 1961 à 1990), basé sur la valeur médiane obtenue pour sept modèles de circulation générale combinés aux scénarios d'émissions présentés dans le rapport spécial sur les scénarios d'émissions (*Special Report on Emissions Scenarios*, ou SRES).

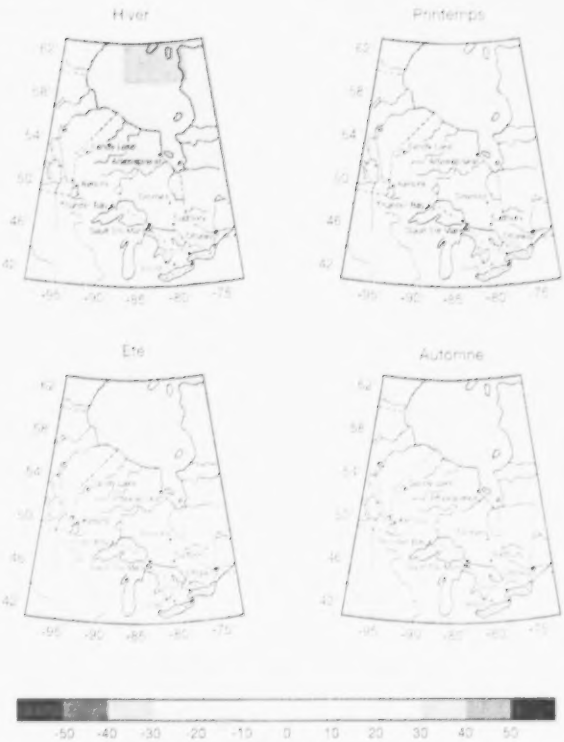


FIGURE 13 : Changement saisonnier des précipitations (en pourcentage) d'ici aux années 2050 (par rapport aux années de référence 1961 à 1990), basé sur la valeur médiane obtenue pour sept modèles de circulation générale combinés aux scénarios d'émissions présentés dans le rapport spécial sur les scénarios d'émissions (*Special Report on Emissions Scenarios* ou SRES).

douces et de saisons de croissance prolongées, ce qui entraînera une augmentation des taux d'évaporation et d'évapotranspiration. Les projections hivernales montrent une intensification des précipitations, augmentant du sud au nord et s'échelonnant de 10 à plus de 40 p. 100.

Les changements des quantités extrêmes de précipitations quotidiennes devraient être supérieurs aux changements projetés des quantités moyennes annuelles (Kharin et Zwiers, 2005), ce qui signifie que ces types de phénomènes deviendront plus intenses et plus fréquents (Hengeveld et Whitewood, 2005). Il est probable que la fréquence des bourrasques de neige d'effet de lac augmentera à brève et moyenne échéances à mesure que la température des lacs s'élèvera et que la température ambiante en hiver restera assez fraîche pour produire des précipitations neigeuses abondantes. On peut cependant s'attendre, à la fin du XXI^{e} siècle, à une réduction de l'importance de ces dernières et à leur remplacement par des pluies abondantes (Kunkel *et al.*, 2002; Burnett *et al.*, 2003).

Pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique a une forte incidence sur la santé des populations humaines et des écosystèmes. Elle provoque des pathologies pouvant entraîner la mort chez les classes les plus vulnérables de la population. Elle a aussi pour effet de réduire les rendements de nombreuses productions agricoles. Le changement climatique exerce un effet sur les niveaux de pollution de l'air par l'entremise de modifications des conditions météorologiques et de la composition chimique de l'atmosphère. Il existe également des possibilités de synergies entre les impacts sanitaires que produisent les élévations de la température et la pollution atmosphérique, en raison de l'augmentation possible des émissions d'équipements électrogènes utilisant des combustibles fossiles auxquels on a recours pour faire face à la hausse des pointes de consommation. En Ontario, les problèmes de qualité de l'air liés à l'ozone et aux particules fines sont considérables, en particulier dans l'ensemble de la sous-région sud. De façon intermittente, les particules et l'ozone posent aussi des problèmes dans d'autres régions de la province.

Les concentrations de particules et de précurseurs de l'ozone ont baissé au cours des 30 dernières années, même si cette baisse a atteint un plateau depuis le milieu des années 1980 (Brown et Palacios, 2005; Commission mixte internationale, 2006). Toutefois, certaines villes, comme Toronto, connaissent une augmentation des teneurs atmosphériques en dioxyde d'azote et en particules fines qui s'explique en partie par l'augmentation des émissions provenant des centrales thermiques alimentées au charbon et du secteur des transports (Campbell *et al.*, 2004). Malgré les baisses de concentration des polluants précurseurs de l'ozone, l'Ontario affiche des hausses statistiquement significatives des moyennes saisonnières de concentration d'ozone atmosphérique durant l'été et l'hiver pour la période s'étendant de 1980 à 2005 (ministère de l'Environnement de l'Ontario, 2006a). Au Canada, les concentrations d'ozone sont les plus élevées et leur élévation, la plus rapide dans la sous-région sud de l'Ontario (Environnement Canada *et al.*, 2005; ministère de l'Environnement de l'Ontario, 2006a). Au cours des dernières années, les relevés des stations de surveillance de l'Ontario, dans les villes petites et grandes comme en milieu rural, ont été supérieurs à la norme standard pancanadienne relative à l'ozone, sauf à Thunder Bay. Une part importante du problème est la pollution transfrontalière qui peut atteindre des niveaux égaux, sinon supérieurs, à ceux des sources locales pendant les épisodes de smog (Yap *et al.*, 2005). L'Ontario est également une source importante de pollution atmosphérique pour les régions situées en aval des masses d'air en déplacement : le Québec, le Canada atlantique et certaines parties du nord-est des États-Unis.

3 SENSIBILITÉ, IMPACTS ET VULNÉRABILITÉ : PERSPECTIVES POUR LES SOUS-RÉGIONS

3.1 SOUS-RÉGION SUD

La sous-région sud (*voir* la figure 1 et l'encadré 1), qui comprend le sud-ouest de l'Ontario, s'étend à l'est jusqu'à la frontière avec le Québec et renferme les Grands Lacs (*voir* l'encadré 2). La majorité des recherches sur les effets du changement climatique et l'adaptation à ces effets en Ontario sont axées sur cette sous-région. Selon les projections, ce sont les changements des niveaux de l'eau des Grands Lacs (*voir* l'étude de cas 1) qui constituent l'effet le plus important du changement climatique dans cette sous-région, en raison de ses conséquences en matière de gestion de l'eau, de production d'hydroélectricité, de transports, du secteur du tourisme et des loisirs et de la durabilité des écosystèmes. Parmi les autres préoccupations majeures, on compte les effets du changement climatique et des phénomènes météorologiques extrêmes sur la qualité et l'abondance des eaux (*voir* l'étude de cas 2), sur les infrastructures essentielles (*voir* l'étude de cas 3), sur la santé humaine (*voir* l'étude de cas 4) et sur l'agriculture.

3.1.1 Écosystèmes

Le réchauffement régional influe fortement sur les attributs physiques des écosystèmes aquatiques. C'est ainsi que l'on constate une forte tendance régionale à une prise de plus en plus tardive et à une rupture de plus en plus précoce de la glace des lacs. Sur le lac Simcoe, la date moyenne de prise de la glace intervient 13 jours plus tard et celle de sa rupture, quatre jours plus tôt qu'il y a 140 ans (Conseil canadien des ministres de l'Environnement, 2003). Sur les Grands Lacs, au cours des 100 à 150 dernières années, la saison de couverture de glace a raccourci de 1 à 2 mois (Kling *et al.*, 2003). La durée de la couverture de glace dans la baie de Quinte (lac Ontario) a aussi considérablement raccourci, en particulier depuis la fin des années 1970, l'automne et l'hiver 2005-2006 ayant montré la plus faible concentration de glace depuis 50 ans ou plus (J.M. Casselman, communication personnelle, 2006). Le réchauffement projeté, en particulier pendant les mois d'hiver, entraînera d'autres changements de la durée et de l'étendue de la couverture de glace sur les lacs. Par exemple, Lofgren *et al.* (2002) ont pu déterminer que la durée d'englacement de certaines parties des bassins du lac Supérieur et du lac Érié, dont la moyenne se situe aujourd'hui entre 11 et 16 semaines, pourrait avoir raccourci de 16 à 52 jours d'ici à 2050. La réduction de la couche de glace se traduit par un accroissement de la perte d'eau par évaporation et de l'érosion des rives lors des tempêtes hivernales; elle peut aussi avoir une incidence sur les chutes de neige d'effet de lac (Mortsch *et al.*, 2006).

Des hausses de la température près des rives ont été relevées en plusieurs endroits autour des Grands Lacs depuis les années 1920. Elles sont très prononcées au printemps et en automne, et font preuve d'une corrélation positive avec les tendances des températures de l'air moyennes planétaires (King *et al.*, 1997 et 1999; McCormack et Fahnenstiel, 1999; Shuter *et al.*, 2002; Kling *et al.*, 2003). Ce réchauffement a probablement contribué aux principales répercussions écosystémiques ayant touché les Grands Lacs, soit les proliférations d'algues bleues et bleu-vert (cyanophycées) et les invasions d'invertébrés (p. ex., le cladocère épineux, la moule zébrée et la moule quagga) et de vertébrés (p. ex., le gobie à taches noires ou diverses espèces de carpes) exotiques (Schindler, 2001; Kling *et al.*, 2003; MacIsaac *et al.*, 2004). Ces perturbations ont obligé de nombreuses collectivités côtières à modifier leurs infrastructures, notamment en installant des usines de traitement de l'eau, et à intervenir par d'autres mesures comme l'enlèvement des moules fixées sur les conduites d'adduction d'eau en vue de réduire ces effets (Sarrouh et Ramadan, 1994; Aldridge *et al.*, 2006). Le réchauffement projeté accentuera ces problèmes, car

ENCADRÉ 2

Les Grands Lacs

Les Grands Lacs occupent une superficie de 244 160 km²; la longueur totale de leurs rives est de 17 000 km et leur volume est de 22 684 km³ (*voir* la figure 14; Environnement Canada, 1991). Ils sont reliés à l'océan Atlantique par le fleuve Saint-Laurent et contiennent près d'un cinquième des réserves d'eau douce non gelée de la surface de la planète. Les zones entourant les Grands Lacs sont peuplées de plus de 90 millions de personnes; elles sont en outre le lieu d'origine de plus de 30 p. 100 du produit intérieur brut du continent et de plus de 60 p. 100 de la production industrielle canadienne (Sousounis et Bisanz, 2000).

FIGURE 14 : Le bassin des Grands Lacs.

Étude de cas 1 : Climat et niveau des eaux des Grands Lacs

Bien que les niveaux de l'eau des Grands Lacs soient dans une certaine mesure régularisés aux exutoires des lacs Supérieur et Ontario, et qu'il y ait plusieurs dérivations sur l'ensemble du bassin, le climat en reste le principal facteur responsable (Changnon, 2004). La reconstitution de l'évolution des niveaux des lacs fondée sur l'étude des cernes de croissance d'arbres révèle que les baisses des niveaux d'eau étaient plus fréquentes avant le XX^{e} siècle, signe que la variabilité se manifestant selon son intervalle cyclique naturel est plus considérable que celle qui se manifeste depuis ces derniers temps (Quinn et Sellinger, 2006). Au cours des 150 dernières années, les niveaux d'eau moyens annuels des Grands Lacs ont souvent varié, l'amplitude entre les niveaux maximum et minimum pouvant atteindre 180 cm (Mortsch *et al.*, 2006). Le niveau des eaux a été de 50 à 80 cm supérieur à la moyenne établie de 1973 à 1975, de 1985 à 1986 et en 1997, et de 50 à 80 cm inférieur à la moyenne de 1934 à 1935, de 1964 à 1965 et de 1999 à 2002 (Changnon, 2004; Mortsch *et al.*, 2006). En 2001, le lac Supérieur a atteint son niveau le plus bas depuis 1925, et les lacs Michigan et Huron, leur niveau le plus bas depuis 1965. La baisse des niveaux d'eau correspond à une perte substantielle du volume d'eau dans le système des Grands Lacs. Par exemple, entre avril 1998 et mai 1999, les baisses de niveau dans les Grands Lacs ont entraîné une perte d'environ 120 km^3 sur l'ensemble du système, soit l'équivalent de près de deux ans de déversement des chutes du Niagara (Moulton et Cuthbert, 2000).

Bien que les températures et les précipitations aient de toute évidence une grande influence sur les niveaux de l'eau des lacs, on ne comprend pas encore parfaitement les mécanismes de ce lien, notamment en raison de l'absence de mesures des précipitations ou de l'évaporation au-dessus des lacs. L'analyse des données climatologiques régionales à long terme semble indiquer que la variabilité des niveaux des lacs est imputable à 55 p. 100 aux précipitations et à 30 p. 100 aux températures (Changnon, 2004). Toutefois, une étude réalisée entre 1997 et 2000 (Assel *et al.*, 2004) a démontré que les températures à la hausse sont la cause principale de la baisse des niveaux d'eau, tout au moins à court terme.

Bien que la plupart des scénarios climatiques prédisent une augmentation des précipitations dans la région (*voir* la figure 12), l'accroissement de l'évaporation dû à la hausse des températures devrait avoir pour résultat une baisse nette des niveaux d'eau dans les Grands Lacs (Mortsch *et al.*, 2000, 2006; Cohen et Miller, 2001; Lofgren *et al.*, 2002; Kling *et al.*, 2003). On s'attend à une augmentation de l'évaporation pendant toutes les saisons, et notamment en hiver en raison du raccourcissement de la période d'englacement des lacs. Les résultats d'études de modélisation de l'évolution future des niveaux d'eau dans les lacs Ontario, Érié, Sainte Claire et Michigan-Huron sont présentés à la figure 15. Dans la plupart des cas, on prédit une baisse des niveaux (Mortsch *et al.*, 2000, 2006; Cohen et Miller, 2001; Lofgren *et al.*, 2002; Kling *et al.*, 2003). Les niveaux d'eau projetés, tant dans l'hypothèse d'un climat chaud et humide que dans celle d'un climat chaud et sec, se situeraient en deçà de la limite inférieure de variabilité constatée au cours des 50 dernières années, sauf pour le lac Ontario. Dans l'hypothèse d'une hausse des températures plus modérée et d'un climat plus humide, on prédit pour le lac Ontario une hausse annuelle de 0,02 m et une hausse en hiver de 0,07 m. On s'attend à ce que les baisses les plus prononcées touchent le bassin des lacs Michigan et Huron, soit de 0,73 m à 1,18 m d'ici les années 2050 (Mortsch *et al.*, 2006). On prédit également que les niveaux seront plus souvent bas, en particulier dans le lac Érié, et que des variations saisonnières se manifesteront plus fréquemment (Mortsch *et al.*, 2000; Lofgren *et al.*, 2002; Croley, 2003). L'effet de la baisse des niveaux d'eau sera le plus prononcé dans les parties peu profondes du système, en particulier dans l'ouest du lac Érié, dans le lac Sainte Claire et les rivières Sainte Claire et Détroit (deLoë et Kreutzwiser, 2000).

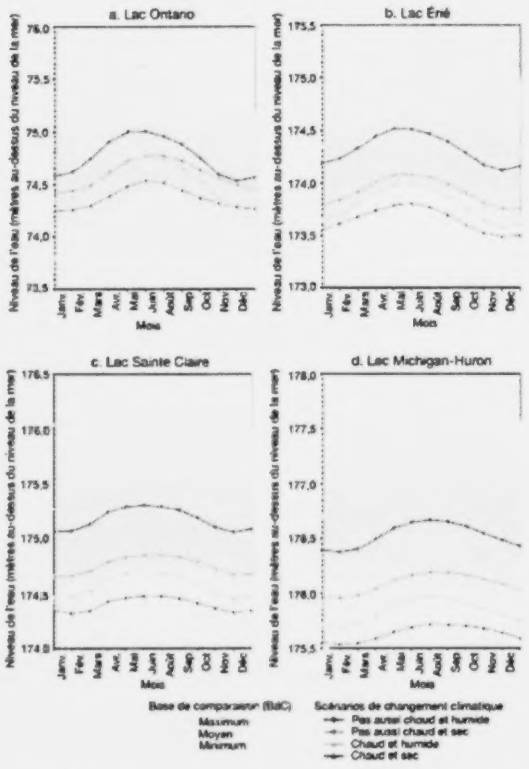


FIGURE 15 : Changements prévus des niveaux de l'eau des Grands Lacs (Mortsch *et al.*, 2006) basés sur une moyenne de 101 ans dans le cas du lac Ontario (a) et sur une moyenne de 50 ans dans le cas des lacs Érié (b), Sainte Claire (c) et Michigan-Huron (d).

Les projections ci-dessus de l'évolution des niveaux d'eau ne tiennent compte que des changements d'ordre climatique. Moulton et Cuthbert (2000) ont évalué l'effet cumulatif, sur les niveaux des lacs, des changements des conditions climatiques, de la consommation ainsi que des dérivations et des transferts massifs d'eau dans le bassin versant. Ils ont pris pour hypothèse des prélèvements d'eau additionnels pouvant atteindre 200 m^3/s, valeur qui concorde avec la consommation actuelle (Moulton et Cuthbert, 2000). L'étude en a conclu que les effets cumulatifs de ces stress multiples sur les niveaux d'eau des Grands Lacs pourraient obliger la modification du Traité du Niagara et des Ordonnances de recours relatives au lac Supérieur et au Saint-Laurent concernant les eaux limitrophes gérés par la Commission mixte internationale. L'étude soulignait également que les ouvrages de régularisation sur la rivière St. Mary's et le Saint-Laurent pourraient devoir être en grande partie modifiés pour tenir compte des changements des niveaux d'eau et que l'entretien des voies de navigation exigerait une intensification du dragage en raison de la baisse des étiages, exigeant le recours à des excavations et à la gestion subséquente des matériaux toxiques. L'étude concluait enfin que les plans de régularisation des niveaux d'eau en place pour les lacs Supérieur et Ontario ne permettaient pas de gérer efficacement les situations d'étiage futures, car le maintien des débits sortants minimaux aurait pour effet d'abaisser de plusieurs mètres le niveaux de lacs.

ces espèces, ainsi que d'autres involontairement apportées des habitats plus chauds d'où elles sont originaires, ne s'établiront que plus facilement dans un climat en réchauffement (Schindler, 2001; MacIssac *et al.*, 2004). On projette une hausse des températures annuelles moyennes des eaux de surface dans tous les Grands Lacs; en ce qui concerne le lac Supérieur, soit le plus profond et le plus froid, on projette une hausse de la température de l'eau de 3,5 °C à 5 °C d'ici à 2050 (Lehman, 2002).

Les hausses de température des eaux perturbent également la composition des communautés de poissons, ce qui a des conséquences aussi bien pour la pêche commerciale que pour la pêche sportive. Les communautés de poissons du bassin des Grands Lacs sont très diverses et comprennent des espèces préférant les eaux froides (< 15 °C), les eaux tempérées (de 15 °C à 25 °C) et les eaux chaudes (> 25 °C). L'accélération de cette tendance au réchauffement favorisera la production de poissons d'eaux chaudes et nuira à la production des espèces d'eaux froides et tempérées, comme on a pu le constater dans la baie de Quinte du lac Ontario (J.M. Casselman, communication personnelle, 2006). On s'attend à la disparition d'espèces d'eaux tempérées et froides, en particulier le touladi, et plus particulièrement dans les lacs Ontario et Érié (Casselman, 2002; Casselman *et al.*, 2002; Casselman et Scott, 2003; Kling *et al.*, 2003; Shuter et Lester, 2003). On commence déjà à voir de plus en plus souvent de nombreuses espèces d'eaux chaudes, comme le buffalo à grande bouche et le poisson-chat à tête plate, dans le bassin des Grands Lacs.

Les terres humides côtières constituent des sites importants de haltes migratoires et d'aires de reproduction et d'hivernage pour la sauvagine, et de frayères et d'alevinières pour de nombreux poissons. La baisse des niveaux d'eau résultant du changement climatique (*voir* l'étude de cas 1) entraînera la modification ou l'élimination des terres humides qui contribuent à maintenir l'intégrité des rivages, à freiner l'érosion, à filtrer les matières contaminantes, à absorber les excédents d'eaux pluviales et à fournir un habitat aux poissons et aux espèces sauvages (Mortsch, 1998; Branfireum *et al.*, 1999; Devito *et al.*, 1999; Mortsch *et al.*, 2000; Lemmen et Warren, 2004). De nombreuses terres humides côtières du bassin des Grands Lacs sont déjà soumises à des stress d'ordre non climatique importants, notamment à des changements sur le plan de l'utilisation des terres et des apports de nutriments, et risquent de ne pas pouvoir conserver leur utilité et leur intégrité si le changement climatique vient à y exercer un surcroît de pression (Easterling *et al.*, 2004). La protection de certains territoires en vue d'y permettre le développement de nouvelles terres humides constituera donc un des enjeux de la gestion des écosystèmes dans les décennies à venir (Whillans, 1990; Inkley *et al.*, 2004).

Le changement climatique représente également un important facteur de stress supplémentaire sur les écosystèmes terrestres dans la sous-région sud. La perte d'habitats naturels découlant du développement agricole et de l'urbanisation est un des principaux facteurs se traduisant par une perte de biodiversité. Les reliques de la forêt carolinienne renferment des espèces rares et menacées, comme le tulipier d'Amérique, le gommier noir, l'érable sycomore, le chicot févier et l'asiminier de Virginie. Dans le sud-ouest de cette sous-région se trouvent les reliques les plus étendues de végétation de prairie à hautes herbes de la province. Les études concernant les impacts du changement climatique constatés sur la flore et la faune de es écosystèmes sont encore peu nombreuses (p. ex., Hussell, 2003).

3.1.2 Gestion des ressources hydriques

Approvisionnement en eau

La gestion des ressources hydriques dans la sous-région sud est complexe, car elle doit tenir compte non seulement des besoins d'un grand nombre d'utilisateurs différents, de l'augmentation rapide de l'urbanisation et de la croissance économique, mais aussi des besoins en débits minimums. La plupart des habitants de cette sous-région dépendent des eaux superficielles, bien que 90 p. 100 des populations rurales puisent toute leur eau potable dans les nappes phréatiques (ministère de l'Environnement de l'Ontario, 2001, 2006b). On projette une diminution du ruissellement annuel total sous l'effet du changement climatique futur, phénomène caractérisé par une augmentation des débits pendant les mois d'hiver et par une baisse sensible pendant les mois d'été, au moment où la demande est la plus forte (Mortsch *et al.*, 2000; Cunderlink et Simonovic, 2005).

Malgré l'abondance générale de leurs ressources en eau douce, la région de Waterloo (Cambridge, Kitchener et Waterloo) et les comtés de Wellington (Guelph), Dufferin (Orangeville) et Peel (Caledon) ont connu des pénuries d'eau saisonnières (de Loë *et al.*, 2001; Ivey, 2001). Dans la sous-région, de nombreux puits peu profonds sont sensibles à la baisse des niveaux d'eau ou à la sécheresse, et certains risquent de se tarir (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 2006c). Un bon nombre de zones reconnues comme parmi les plus exposées aux pénuries d'eau ont été incluses dans la ceinture de verdure du plan de croissance pour la région élargie du Golden Horseshoe (Growth Plan for the Greater Golden Horseshoe Region) qui impose, notamment, des limites à l'urbanisation (ministère du Renouvellement des infrastructures publiques de l'Ontario, 2006).

Plusieurs études ont analysé l'impact du changement climatique sur les ressources hydriques dans les régions voisines du bassin des Grands Lacs (p. ex., Mortsch *et al.*, 2000, 2003; Bruce *et al.*, 2003; Kling *et al.*, 2003). Le tableau 2 identifie les changements projetés de l'hydrologie régionale qui auront une incidence sur la quantité et la qualité de l'eau. Les zones déjà touchées par des facteurs autres que climatiques sont celles qui suscitent le plus d'inquiétude (*voir* l'encadré 3). Les collectivités qui ont accès à l'eau des Grands Lacs par des prises d'eau peu profondes ou des conduites conçues pour des niveaux d'eau jusqu'ici relativement élevés risquent d'éprouver des difficultés dans l'avenir, en raison de l'augmentation de la fréquence des bas niveaux d'eau. Il est probable que la prolifération des algues, conjuguée à la baisse des niveaux d'eau, provoque des problèmes d'alimentation en eau, et en modifie l'odeur et le goût (Mortsch *et al.*, 2000; Bruce *et al.*, 2003; Kling *et al.*, 2003).

De façon générale, les collectivités qui dépendent d'eaux superficielles autres que celles des Grands Lacs seront, elles aussi, de plus en plus souvent exposées à des pénuries d'eau (Kreutzwiser *et al.*, 2003). Les répercussions du changement climatique prévu d'ici à 2020 seront probablement plus marquées que celles des changements dus à l'urbanisation prévue, en termes tant d'ampleur des débits maximums que de concentrations totales d'azote et de phosphore (Booty *et al.*, 2005). La même étude a démontré que les bassins versants secondaires ont des vulnérabilités et des réactions à des stress similaires qui leur sont propres. De ce fait, les collectivités vivant dans ces bassins secondaires devront probablement s'adapter de façon spécifique (Booty *et al.*, 2005).

Aux baisses prévues des disponibilités saisonnières en eau s'ajoutera une hausse démographique qui fera croître la demande en eau potable. Quelque 80 p. 100 de la croissance démographique en Ontario d'ici à 2031 devrait se concentrer dans la région élargie du Golden Horseshoe, qui comprend Toronto et sa région. On prévoit que la croissance la plus forte se situera dans la région de Waterloo et dans les comtés de Wellington, Dufferin et Simcoe, qui connaissent déjà périodiquement des pénuries (ministère du Renouvellement des infrastructures publiques de l'Ontario, 2006).

Mieux connaître les ressources en eau à la source, les besoins en eau dans les bassins versants et les menaces éventuelles peut aider à limiter la vulnérabilité face à des pénuries d'eau plus fréquentes. C'est ainsi que, en réaction à des pénuries passées, l'office de la conservation de la rivière Grand a réalisé une étude approfondie de la consommation d'eau au sein du bassin (Bellamy et Boyd, 2005). Cette étude a révélé que l'irrigation, qui occupe la huitième place parmi les postes de consommation d'eau sur l'année, passe à la deuxième place au mois de juillet, période où les eaux de surface sont à leur plus bas (Bellamy et Boyd, 2005). Ces renseignements, conjugués à ceux fournis par les projections climatiques et démographiques, permettront d'identifier les secteurs à problèmes pour les 20 à 50 prochaines années.

La vulnérabilité des mesures d'approvisionnement en eau aux sécheresses dans la sous-région sud est atténuée par la possibilité d'avoir accès à l'eau des Grands Lacs par des prises d'eau plus profondes, ainsi que par les réseaux interconnectés de traitement et d'adduction des eaux qui permettent le partage entre les installations au cours de pénuries (Kreutzwiser *et al.*, 2003). Dans les régions qui dépendent des eaux souterraines, les sources plus profondes sont davantage protégées de la variabilité du climat et sont souvent exploitées lorsque les sources peu profondes commencent à s'épuiser (Environnement Canada, 2004). Comme mesure d'adaptation, il est essentiel de protéger les eaux de source afin de limiter le risque que présente le changement climatique à la sécurité et à la fiabilité des ressources en eaux souterraines (*voir* l'étude de cas 2).

Inondations

La sous-région sud étant la plus urbanisée de la province, les répercussions des phénomènes météorologiques extrêmes sur les infrastructures et la continuité du service s'y font sentir bien

TABLEAU 2 : Changements prévus des ressources hydriques dans le bassin des Grands Lacs (*tiré de* de Loë et Berg, 2006).

Paramètres hydrologiques	Changements attendus au cours du XXIe siècle dans le bassin des Grands Lacs
Ruissellement	• Diminution du ruissellement annuel, mais augmentation du ruissellement d'hiver • Crues printanières précoces et plus faibles (débit résultant de la fonte de la neige et de la glace) • Les débits d'été et d'automne sont plus faibles • Augmentation de la durée des périodes de faible débit • Fréquence accrue des hauts débits dus aux épisodes de précipitations extrêmes
Niveaux des lacs	• Diminution des apports nets au bassin et baisse des niveaux causée par une évaporation accrue et par le moment de survenue des précipitations • Augmentation de la fréquence des bas niveaux de l'eau
Approvisionnement des nappes souterraines	• Diminution de l'apport aux nappes souterraines, les nappes phréatiques les moins profondes étant particulièrement sensibles
Décharge des nappes souterraines	• Modifications des quantités et des moments de survenue des débits de base alimentant les cours d'eau, les lacs et les terres humides
Couverture de glace	• Réduction ou élimination complète de la période de couverture de glace
Couverture nivale	• Réduction de la couverture de neige (profondeur, superficie et durée)
Température de l'eau	• Hausse de la température de l'eau dans les plans d'eau de surface
Humidité du sol	• Augmentation possible de l'humidité du sol pouvant atteindre 80 p. 100 durant l'hiver dans le bassin, mais baisse pouvant atteindre 30 p. 100 l'été et l'automne

ENCADRÉ 3

Changement climatique et qualité de l'eau dans les systèmes subissant des stress

Le Plan d'assainissement des Grands Lacs a été institué en 1987 par la Commission mixte internationale (CMI) dans le cadre de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs (Commission mixte internationale, 1989) signé entre le Canada et les États-Unis. Les zones du bassin des Grands Lacs dont le milieu a subi une détérioration sont déclarées « secteurs préoccupants » (SP), et des plans d'assainissement (PA) sont conçus et mis en œuvre. Il existe à l'heure actuelle dix SP au Canada, 26 aux États-Unis et cinq qui sont limitrophes. La CMI surveille les progrès accomplis dans chaque SP. Sur les 43 SP identifiés au départ, deux ont été retirés de la liste : le port de Collingwood et le bras Severn, en Ontario (Environnement Canada, 2006b).

Les répercussions du changement climatique sur l'hydrologie auront une incidence sur le succès des PA. Par exemple, Walker (1996) a expliqué qu'il est déjà difficile aux gestionnaires de l'eau de respecter les limites de concentration du phosphore dans certains bassins du PA de Quinte en raison des diminutions périodiques des débits saisonniers, auxquels viennent s'ajouter l'augmentation des pluies en hiver et l'érosion. Le changement climatique projeté obligera à investir davantage dans le traitement sanitaire de l'eau, les pratiques culturales de conservation et la gestion urbaine des eaux pluviales. Les PA et les plans d'aménagement panlacustre devront tenir compte des effets du changement climatique au moment de fixer et de revoir les objectifs de qualité de l'eau, et il leur faudra probablement avoir recours à des investissements supplémentaires pour atteindre leurs objectifs (Bruce *et al.*, 2000).

Aux baisses prévues des disponibilités saisonnières en eau s'ajoutera une hausse démographique qui fera croître la demande en eau potable. Quelque 80 p. 100 de la croissance démographique en Ontario d'ici à 2031 devrait se concentrer dans la région élargie du Golden Horseshoe, qui comprend Toronto et sa région. On prévoit que la croissance la plus forte se situera dans la région de Waterloo et dans les comtés de Wellington, Dufferin et Simcoe, qui connaissent déjà périodiquement des pénuries (ministère du Renouvellement des infrastructures publiques de l'Ontario, 2006).

Mieux connaître les ressources en eau à la source, les besoins en eau dans les bassins versants et les menaces éventuelles peut aider à limiter la vulnérabilité face à des pénuries d'eau plus fréquentes. C'est ainsi que, en réaction à des pénuries passées, l'office de la conservation de la rivière Grand a réalisé une étude approfondie de la consommation d'eau au sein du bassin (Bellamy et Boyd, 2005). Cette étude a révélé que l'irrigation, qui occupe la huitième place parmi les postes de consommation d'eau sur l'année, passe à la deuxième place au mois de juillet, période où les eaux de surface sont à leur plus bas (Bellamy et Boyd, 2005). Ces renseignements, conjugués à ceux fournis par les projections climatiques et démographiques, permettront d'identifier les secteurs à problèmes pour les 20 à 50 prochaines années.

La vulnérabilité des mesures d'approvisionnement en eau aux sécheresses dans la sous-région sud est atténuée par la possibilité d'avoir accès à l'eau des Grands Lacs par des prises d'eau plus profondes, ainsi que par les réseaux interconnectés de traitement et d'adduction des eaux qui permettent le partage entre les installations au cours de pénuries (Kreutzwiser *et al.*, 2003). Dans les régions qui dépendent des eaux souterraines, les sources plus profondes sont davantage protégées de la variabilité du climat et sont souvent exploitées lorsque les sources peu profondes commencent à s'épuiser (Environnement Canada, 2004). Comme mesure d'adaptation, il est essentiel de protéger les eaux de source afin de limiter le risqué que présente le changement climatique à la sécurité et à la fiabilité des ressources en eaux souterraines (*voir* l'étude de cas 2).

TABLEAU 2 : Changements prévus des ressources hydriques dans le bassin des Grands Lacs (*tiré de* de Loë et Berg, 2006).

Paramètres hydrologiques	Changements attendus au cours du XXIe siècle dans le bassin des Grands Lacs
Ruissellement	• Diminution du ruissellement annuel, mais augmentation du ruissellement d'hiver • Crues printanières précoces et plus faibles (débit résultant de la fonte de la neige et de la glace) • Les débits d'été et d'automne sont plus faibles • Augmentation de la durée des périodes de faible débit • Fréquence accrue des hauts débits dus aux épisodes de précipitations extrêmes
Niveaux des lacs	• Diminution des apports nets au bassin et baisse des niveaux causée par une évaporation accrue et par le moment de survenue des précipitations • Augmentation de la fréquence des bas niveaux de l'eau
Approvisionnement des nappes souterraines	• Diminution de l'apport aux nappes souterraines, les nappes phréatiques les moins profondes étant particulièrement sensibles
Décharge des nappes souterraines	• Modifications des quantités et des moments de survenue des débits de base alimentant les cours d'eau, les lacs et les terres humides
Couverture de glace	• Réduction ou élimination complète de la période de couverture de glace
Couverture nivale	• Réduction de la couverture de neige (profondeur, superficie et durée)
Température de l'eau	• Hausse de la température de l'eau dans les plans d'eau de surface
Humidité du sol	• Augmentation possible de l'humidité du sol pouvant atteindre 80 p. 100 durant l'hiver dans le bassin, mais baisse pouvant atteindre 30 p. 100 l'été et l'automne

Inondations

La sous-région sud étant la plus urbanisée de la province, les répercussions des phénomènes météorologiques extrêmes sur les infrastructures et la continuité du service s'y font sentir bien

ENCADRÉ 3

Changement climatique et qualité de l'eau dans les systèmes subissant des stress

Le Plan d'assainissement des Grands Lacs a été institué en 1987 par la Commission mixte internationale (CMI) dans le cadre de l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs (Commission mixte internationale, 1989) signé entre le Canada et les États-Unis. Les zones du bassin des Grands Lacs dont le milieu a subi une détérioration sont déclarées « secteurs préoccupants » (SP), et des plans d'assainissement (PA) sont conçus et mis en œuvre. Il existe à l'heure actuelle dix SP au Canada, 26 aux États-Unis et cinq qui sont limitrophes. La CMI surveille les progrès accomplis dans chaque SP. Sur les 43 SP identifiés au départ, deux ont été retirés de la liste : le port de Collingwood et le bras Severn, en Ontario (Environnement Canada, 2006b).

Les répercussions du changement climatique sur l'hydrologie auront une incidence sur le succès des PA. Par exemple, Walker (1996) a expliqué qu'il est déjà difficile aux gestionnaires de l'eau de respecter les limites de concentration du phosphore dans certains bassins du PA de Quinte en raison des diminutions périodiques des débits saisonniers, auxquels viennent s'ajouter l'augmentation des pluies en hiver et l'érosion. Le changement climatique projeté obligera à investir davantage dans le traitement sanitaire de l'eau, les pratiques culturales de conservation et la gestion urbaine des eaux pluviales. Les PA et les plans d'aménagement panlacustre devront tenir compte des effets du changement climatique au moment de fixer et de revoir les objectifs de qualité de l'eau, et il leur faudra probablement avoir recours à des investissements supplémentaires pour atteindre leurs objectifs (Bruce *et al.*, 2000).

davantage qu'ailleurs dans la province, tant dans leur ampleur que dans leurs coûts économiques. La plupart des situations d'urgence dues à des inondations répertoriées entre 1992 et 2003 dans cette région se sont produites entre janvier et mai, et étaient dues à des épisodes de pluie sur neige. La hausse des températures en hiver fera avancer les crues printanières et celles-ci seront probablement moins abondantes en raison des dégels hivernaux plus fréquents (Kling *et al.*, 2003), réduisant du même coup le risque d'inondations au printemps (Hengeveld et Whitewood, 2005).

Les épisodes de fortes pluies peuvent également provoquer des inondations. Entre 1979 et 2004, le sud-ouest de la sous-région a connu de fortes pluies plus souvent que toutes les autres régions de la province (*voir* la figure 16). Le 19 août 2005, des précipitations exceptionnellement fortes ont provoqué de gros dégâts à Toronto (*voir* l'étude de cas 3). Au cours des 20 dernières années, Toronto a connu à sept autres reprises de graves inondations dues à de fortes précipitations, toutes considérées comme ayant une période de récurrence de plus de 25 ans (D'Andrea, 2005).

La région de York et la ville de Niagara ont enregistré une augmentation des inondations de sous-sols ou localisées (Brûlé et McCormick, 2005), et plusieurs municipalités envisagent de moderniser leurs infrastructures d'évacuation des eaux pluviales en fonction d'épisodes de précipitations plus intenses (Ormond, 2004; Brûlé et McCormick, 2005; D'Andrea, 2005). En 2001 et 2002, de fortes pluies ont provoqué des inondations généralisées dans la ville de Stratford; la municipalité a donc décidé d'adopter un modèle de tempête type à récurrence de 250 ans (*voir* l'étude de cas 3) et d'investir 70 millions de dollars dans la modernisation de ses infrastructures d'évacuation des eaux pluviales (Rickett *et al.*, 2006).

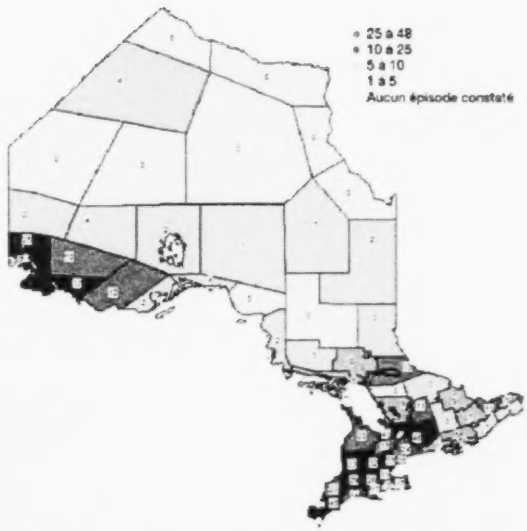


FIGURE 16 : Nombre d'épisodes de fortes pluies entre 1979 et 2004. Une pluie est forte lorsqu'il tombe 50 mm ou plus de pluie à l'heure ou 75mm ou plus en trois heures (Environnement Canada, 2005b).

L'augmentation de la fréquence et, éventuellement, de l'intensité des épisodes de pluies extrêmes fera croître le risque d'inondation en été (Hengeveld et Whitewood, 2005), avec les conséquences que cela suppose pour les grands réseaux urbains d'évacuation des eaux (*voir* le tableau 3). L'office de la conservation de l'eau de Toronto et de la région (Toronto and Region Conservation Authority, ou TRCA) considère le changement climatique comme un des principaux défis en matière de gestion et de conservation de l'eau. En 2005, le TRCA a lancé des travaux en vue d'améliorer la prévention des crues dans le cours inférieur de la rivière Don. Après des tests de sensibilité visant à déterminer l'effet qu'une augmentation des pluies violentes pourrait avoir sur les débits de tempête et le niveau des crues, le TRCA a conçu la digue de telle sorte qu'elle puisse contenir une hausse de 15 à 20 p. 100 des crues ordinaires afin de pouvoir mieux faire face aux incertitudes de l'avenir, y compris celles liées au changement climatique. Il l'a en outre conçue de manière à pouvoir plus tard la surélever de 1 à 2 mètres, si nécessaire (Toronto and Region Conservation Authority, 2006b).

ÉTUDE DE CAS 2

Protection des eaux de source

(*extrait modifié tiré de* de Loë et Berg, 2006)

Du 8 au 12 mai 2000, des pluies exceptionnelles ont entraîné la contamination du réseau d'adduction d'eau de Walkerton (Ontario) par des agents pathogènes microbiologiques (*E. coli* 0157 : H7 et *Campylobacter*), par le biais d'un puits peu profond. Ces agents pathogènes provenaient de fumier qui avait été répandu dans un champ en respectant les pratiques exemplaires reconnues. Sept personnes sont décédées, et 2 300 sont tombées malades en raison d'une mauvaise désinfection de l'eau (O'Connor, 2002; Richards, 2005). En réaction à cette tragédie et à l'enquête publique qui l'a suivie, la province a orienté sa politique vers un système à protections multiples afin de garantir la salubrité de l'eau potable. Les résultats de l'enquête indiquent, sans entrer dans les détails, que l'augmentation de la fréquence des épisodes de pluies extrêmes due au changement climatique risque d'avoir des effets à long terme sur la qualité et la quantité des sources d'eau potable en Ontario (O'Connor, 2002).

La *Loi sur l'eau saine* de l'Ontario, promulguée en octobre 2006, exige la mise en place et la communication de plans de protection des eaux à la source en fonction d'évaluations de la quantité et de la qualité de l'eau dans chaque bassin de la province. Ces plans doivent notamment inclure un bilan hydrique pour chaque bassin et identifier les menaces actuelles et futures pour l'eau potable dans les zones vulnérables. Cette façon de faire permet également de déterminer la vulnérabilité au changement climatique. Les consignes de caractérisation des bassins versants mettent l'accent sur les tendances passées et présentes; toutefois, on attend des équipes chargées de ce travail qu'elles consultent également les modèles de changement climatique appropriés. De ce fait, la nécessité de tenir compte de façon explicite du changement climatique à venir, de même que d'autres changements prévus pour les bassins versants (tels que la croissance démographique, et une utilisation des terres différente ou plus intense), permettra de mieux identifier les zones vulnérables.

3.1.3 Santé humaine

Il y a eu de nombreuses études réalisées concernant l'impact du climat sur la santé humaine dans la sous-région sud de l'Ontario

ÉTUDE DE CAS 3

Pluies extrêmes et infrastructures d'évacuation des eaux pluviales

Les plans de lutte contre les inondations reposent sur des données pluviométriques du passé servant ensuite à fixer des normes de construction pour les infrastructures. De façon générale, ces normes sont basées sur le plus élevé des deux calculs suivants : 1) débit maximum dans un bassin résultant d'une tempête à période de récurrence de 100 ans; ou 2) débit maximum résultant d'une tempête type (tempête plus violente que celle à récurrence de 100 ans) dans le bassin. On tient compte également des modifications des caractéristiques du bassin, telles que l'étendue des surfaces imperméables. Les répercussions résultant des trois exemples suivants font ressortir la vulnérabilité des infrastructures essentielles. Les stratégies d'adaptation visant la conception, la modernisation et l'entretien des infrastructures devront tenir compte de l'incertitude actuelle quant à la fréquence et à l'ampleur des phénomènes météorologiques extrêmes, des infrastructures existantes et de la vulnérabilité liée à l'utilisation des terres, ainsi que du coût de l'adoption de mesures proactives par rapport à celui engagé dans le recours à des mesures réactives et à des réparations.

Sous-région sud : inondation au nord de Toronto le 19 août 2005

Des tempêtes violentes traversant le sud-ouest de l'Ontario le 19 août 2005 ont provoqué de graves inondations et des dégâts aux infrastructures, avec plus de 500 millions de dollars de pertes assurées (Klaassen et MacIver, 2006). Les pluviomètres du nord de la ville ont enregistré 103 mm de pluie en une heure, et ceux de la ville de Toronto, jusqu'à 153 mm, pendant les quelque quatre heures qu'a duré cet orage. Ces deux valeurs sont de deux à trois fois supérieures à celles de la tempête type, soit l'ouragan Hazel de 1954 (Environnement Canada, 2005a). La tempête de 2005 a mis en évidence l'interconnexion des divers types d'infrastructures dans de grandes zones urbaines et les vulnérabilités qui en résultent. L'orage a effectivement provoqué l'effondrement d'une partie de l'avenue Finch, une des plus grandes artères de la ville, endommageant deux conduites principales de gaz sous haute pression, un réseau d'adduction d'eau potable ainsi que des lignes téléphoniques, des lignes électriques et des services de câble passant sous la rue (*voir* la figure 17).

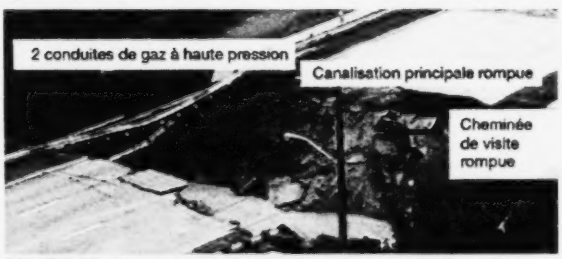


FIGURE 17 : Dommages à l'intersection des avenues Finch et Black Creek, causés par l'inondation survenue au nord de Toronto en août 2005 (photo gracieuseté de la Ville de Toronto).

Sous-région sud : inondation à Peterborough le 15 juillet 2004

En juillet 2004, une violente tempête d'une heure s'est abattue sur la ville de Peterborough (*voir* la figure 18) déversant en une heure presque autant d'eau que n'en déverserait en 24 heures une tempête type à récurrence de 100 ans. Un certain nombre de facteurs ont aggravé les conséquences de ces précipitations intenses. D'abord, les pluies étaient concentrées sur le centre-ville de Peterborough, recouvert en grande partie de surfaces asphaltées imperméables, dont des rues mal conçues pour évacuer les pluies

FIGURE 18 : Inondation de juillet 2004 à Peterborough, en Ontario (photo gracieuseté de City of Peterborough Emergency Management Division).

d'orage, et causant ainsi de vastes inondations. Par ailleurs, il a été estimé que 82 p. 100 des canalisations d'évacuation des eaux pluviales ne satisfaisaient pas aux normes actuelles, ce qui a contribué aux engorgements. Enfin, l'excédent d'eau provenant de l'infiltration des eaux souterraines dans des canalisations d'égouts fissurées ou mal connectées a causé l'engorgement du réseau et l'inondation des sous-sols. On a estimé que les coûts associés aux mesures prises pour corriger les déficiences des infrastructures pourraient atteindre 200 millions de dollars (Klaassen et Seifert, 2006).

L'inondation de Peterborough a causé 95 millions de dollars de pertes assurées (Bureau d'assurance du Canada, 2005) et illustre bien l'importance de tenir compte des facteurs d'ordre non climatique dans la détermination de la vulnérabilité aux risques d'inondation.

Sous-région centrale : tempête du 8 au 11 juillet 2002 dans le nord-ouest de l'Ontario

Du 8 au 11 juin 2002, une série de tempêtes très violentes a déversé entre 220 et 401 mm d'eau sur la sous-région centrale de l'Ontario, dépassant de loin les records précédents (Klaassen, 2005). Les réseaux routiers et ferroviaires ont été perturbés dans toute la région et les dommages résultant directement des inondations ont été évalués à 31 millions de dollars en Ontario, à plus de 7 millions de dollars au Manitoba et à 70 millions de dollars américains au Minnesota et au Dakota du Nord (*voir* la figure 19; Cummine *et al.*, 2004; Klaassen, 2005; Groeneveld, 2006).

Le bassin du barrage Longbow (49 km^2), qui avait reçu 187 mm d'eau avec un débit maximum de 30,1 m^3/s au cours de la tempête type de 1961, dite « Timmins », a reçu 361 mm d'eau avec un débit maximum de 57 m^3/s pendant la tempête de 2002 (Groeneveld, 2006). Selon les données historiques, il s'agit d'une situation dont la période de récurrence est de 1 486 ans. Les gestionnaires de l'eau et les ingénieurs doivent désormais se demander s'ils ne devraient pas retenir la tempête de 2002 comme la tempête type dans leurs plans.

FIGURE 19 : Tempête de juin 2002 dans le nord-ouest de l'Ontario (Groeneveld, 2006).

TABLEAU 3 : Sensibilité des grands réseaux urbains de drainage au changement climatique (*extrait modifié tiré de* Kije Sipe Ltd., 2001).

Changement climatique prévu	Sensibilité attendue du système		
	Systèmes combinés	**Systèmes partiellement séparés**	**Systèmes entièrement séparés**
Augmentation de l'intensité des pluies, types d'événements et volume annuel similaires	Risque accru d'inondation des sous-sols. Baisse du niveau de service	Faible impact sur les débits de pointe et la capacité disponible	Faible impact sur les débits de pointe et la capacité disponible
Augmentation de la fréquence des épisodes de gros volumes et de forte intensité, volume annuel similaire	**Risque accru d'inondation des sous-sols. Baisse du niveau de service. Augmentation possible des volumes dans les déversoirs d'orage, mais moindre fréquence de ces événements**	**Risque accru de surcharge et d'inondation de sous-sols. Baisse du niveau de service**	**Impact possible sur la capacité de croissance disponible. Risque accru de surcharge des égouts et risque d'inondation**
Augmentation de la fréquence des pluies et des volumes annuels, faible augmentation des intensités maximales et de la fréquence des pluies à gros volume	Faible impact sur la capacité du système. Augmentation des volumes des déversoirs d'orage et de la fréquence de ces événements	Augmentation possible du risque d'inondation du système. Impact possible sur les coûts de traitement des eaux usées en raison des volumes et de la dégradation de la qualité	Impact possible sur le traitement des eaux usées en raison des volumes et de la dégradation de la qualité

(p. ex., Smoyer *et al.*, 2000; Last et Chiotti, 2001; Chiotti *et al.*, 2002; Cheng *et al.*, 2005). Les répercussions les plus marquées sont probablement liées au stress thermique, à la pollution atmosphérique, aux phénomènes météorologiques extrêmes, aux maladies transmises par des vecteurs, des rongeurs et l'eau, et à l'exposition au rayonnement ultraviolet (UV).

Stress thermique

La sous-région sud est plus chaude et plus humide que les autres régions de la province; il y a à cela de nombreuses raisons, dont l'effet d'îlot thermique urbain qui peut y causer des températures supérieures de 3 °C à celles de la campagne environnante (Gough et Rozanov, 2002). Environnement Canada émet des avis d'Humidex lorsqu'on prévoit des températures de 30 °C ou lorsque l'indice Humidex (qui fait intervenir tant la température que l'humidité relative) atteint 40 °C (Smoyer *et al.*, 1999, 2000). En 1999, on a estimé le nombre moyen de surmortalités pendant les périodes de fortes chaleurs à 120, 41 et 37 pour Toronto, Ottawa et Windsor respectivement (Cheng *et al.*, 2005). De façon générale, le nombre de sorties d'ambulances et d'hospitalisations augmente dans les villes du sud de l'Ontario pendant les fortes chaleurs (Thompson *et al.*, 2001; Dolney et Sheridan, 2006).

Les projections du changement climatique qui annoncent des hivers plus cléments et des étés plus chauds auront des conséquences aussi bien favorables que défavorables sur les taux de morbidité et de mortalité dus à la température. Le nombre moyen annuel de journées « chaudes » (1961 à 2000), aux températures supérieures ou égales à 30 °C, est de 8 à Toronto, 8 à Ottawa et 15 à Windsor (Cheng *et al.*, 2005). Selon Cheng et Campbell (2005), ces chiffres pourraient plus que doubler dans ces villes d'ici à 2050, plus que tripler à Windsor et presque quadrupler à Toronto et à Ottawa d'ici les années 2080. Si l'on ne prend pas de mesures d'adaptation efficaces, le nombre de décès imputables à la chaleur risque d'augmenter proportionnellement. En revanche, la mortalité causée par le froid pourrait baisser d'environ 45 p. 100 à Ottawa et de 60 p. 100 à Windsor et à Toronto d'ici à 2050, et de 60 à 70 p. 100 dans les trois villes d'ici à 2080 (Cheng *et al.*, 2005; Pengelly *et al.*, 2005). Toutefois, cette incidence positive sur la santé pourrait être contrebalancée par une hausse de la mortalité hivernale due à la pollution atmosphérique si le changement climatique se traduit par une plus grande incursion des masses d'air tropical maritime dans la sous-région sud en hiver (Rainham *et al.*, 2005).

La crainte de connaître des vagues de chaleur plus fréquentes a conduit sept municipalités de la sous-région sud à mettre en place des plans d'avertissement de chaleur intense, pour la plupart basés sur l'indice Humidex. Le plan d'intervention de la ville de Toronto en période de chaleur accablante (*voir* l'étude de cas 4), qui faisait partie d'un projet-pilote parrainé par l'Organisation mondiale de la santé et l'Organisation météorologique mondiale, repose sur un système de classement synoptique spatial basé sur les conditions climatiques locales et inclut des informations sur les conséquences de vagues de chaleur passées et sur les mesures qui avaient alors été prises (Rainham *et al.*, 2005). D'autres agglomérations de la région de Toronto envisagent d'adopter leur propre système de classement synoptique en s'inspirant de celui de Toronto.

Pollution atmosphérique et maladies qui en résultent

Tous les ans, des milliers de Canadiens meurent prématurément à cause d'une exposition brève ou prolongée à la pollution atmosphérique (Judek *et al.*, 2004). L'Ontario Medical Association (2005) a estimé que, chaque année, la pollution atmosphérique cause en Ontario 5 800 décès prématurés, plus de 16 000 hospitalisations, près de 60 000 visites aux urgences et 29 millions de journées de maladie bénigne. Des estimations ont été établies pour 2015 et 2026 en prenant pour hypothèse qu'il n'y aurait aucune baisse du niveau de pollution atmosphérique et en tenant compte du vieillissement de la population. Dans de telles conditions, on s'attend à environ 7 500 décès prématurés d'ici à 2015 et à plus de 10 000 d'ici à 2026. On estime le nombre total de journées de maladie bénigne va augmenter à plus de 38 millions par an d'ici à 2026, surtout chez les personnes de plus de 65 ans (Ontario Medical Association, 2005).

La hausse des températures accompagnant le changement climatique accroîtra le risque de formation d'oxydants photochimiques, c'est-à-dire du smog (Pellegrini *et al.*, 2007) ainsi que les concentrations de pollen dans l'air ambiant (Breton *et al.*, 2006). Une plus grande consommation d'énergie, notamment un plus grand usage des climatiseurs en été, risque aussi d'avoir des conséquences importantes sur la qualité de l'air, selon la méthode

ÉTUDE DE CAS 4

Plan d'intervention de la ville de Toronto en période de chaleur accablante

Le plan d'intervention de la ville de Toronto en période de chaleur accablante est un exemple de la façon dont une municipalité s'adapte à un climat en évolution; il confirme qu'on peut réduire la vulnérabilité en revoyant, évaluant et raffinant fréquemment les mesures existantes. Le plan d'intervention a pour but d'alerter les personnes les plus susceptibles de souffrir gravement des méfaits de la chaleur, voire d'en mourir, lorsqu'une période de chaleur accablante arrive ou a commencé, afin qu'elles prennent des précautions. Les personnes les plus exposées sont les personnes âgées et isolées sur le plan social, les personnes souffrant déjà de pathologies chroniques, y compris de maladies mentales, les enfants et les personnes à faible revenu ou sans abri.

Le processus d'élaboration du plan de Toronto a débuté en 1998, lorsque le groupe de travail des personnes âgées et le comité consultatif sur les sans-abri et les personnes isolées sur le plan social ont demandé aux services de santé publique de la ville de mettre en place un plan d'intervention d'urgence en période de chaleur accablante. Cette initiative découlait du fait que les étés sont de plus en plus chauds à Toronto et que les vagues de chaleur aux États-Unis, y compris celle de 1995 à Chicago, avaient eu des conséquences dramatiques. Les services de santé publique de Toronto ont été chargés d'identifier les conditions météorologiques qui marqueraient le seuil de déclenchement d'un avertissement de chaleur intense et de concevoir un plan d'intervention coordonné rassemblant tous les partenaires essentiels. Le premier système d'alerte lancé en 1999 reposait sur des prévisions d'indice Humidex dépassant 40 °C. Toutefois, le changement rapide des niveaux d'indice Humidex a vite rendu ce seuil inadéquat. Par ailleurs, des études ont révélé que la chaleur faisait des victimes dans la sous-région sud même lorsque l'indice Humidex était inférieur à 40 °C, montrant une fois encore le besoin de disposer d'un meilleur outil de mesure des seuils.

Un système d'avertissement amélioré, conçu spécialement pour Toronto, a été lancé à l'été 2001. Ce système utilise des calculs de probabilité de hausse des taux de surmorbidité ou de surmortalité en fonction des conditions météorologiques locales (p. ex., température et point de rosée, vitesse et direction du vent, et couverture nuageuse) et comprend des informations sur l'effet des vagues de chaleur passées et sur les mesures qui avaient alors été prises (Rainham *et al.*, 2005). Le système repose sur des données historiques démontrant la relation entre mortalité et météorologie; il classe les conditions météorologiques en fonction des masses d'air, puis détermine les types de conditions météorologiques les plus « accablantes » susceptibles de toucher les habitants de la ville. L'alerte est donnée dès qu'une masse d'air étouffante est prévue dans la région. L'avertissement de chaleur intense est émis lorsque les calculs donnent un taux de probabilité de surmortalité de 65 à 90 p. 100. Un taux de probabilité dépassant 90 p.100 déclenche l'alerte de chaleur extrême. Cette dernière est toujours précédée d'au moins une journée d'avertissement de chaleur intense, de sorte que l'on puisse s'assurer que tout est en place pour prendre les mesures d'urgence nécessaires.

Lorsqu'un avertissement de chaleur intense est émis, les responsables de la santé publique en informent les médias et les instances représentant les personnes les plus susceptibles d'être touchées par la canicule : garderies, établissements hospitaliers et centres de soins de longue durée, refuges et organismes communautaires. Par ailleurs, des bouteilles d'eau sont distribuées aux endroits où les personnes vulnérables sont susceptibles de se rassembler; on demande aux refuges d'assouplir leurs règles de couvre-feu et une ligne téléphonique d'information est activée pour répondre à toutes les questions concernant la chaleur. Si l'alerte de chaleur extrême est déclenchée, les services communautaires et de quartiers ouvrent quatre centres de rafraîchissement dans des bâtiments publics répartis dans la ville. Le cas échéant, un de ces centres reste ouvert 24 heures sur 24 et met à la disposition de ceux qui en ont besoin des bouteilles d'eau, des lits et des locaux climatisés.

Un comité d'intervention en période de chaleur accablante se réunit trois fois par an pour faire le point et mettre à jour le plan d'intervention. Une des premières mesures de modification de ce plan a été de confier à la Croix-Rouge la ligne téléphonique d'information sur la chaleur tous les jours d'alerte, y compris les fins de semaine, et la coordination de la distribution d'eau en bouteille. En 2001, de nouveaux partenaires se sont ajoutés et les efforts de sensibilisation ont redoublé. On veille à ce que 1) les fontaines d'eau potable dans les parcs de la ville fonctionnent correctement; 2) les piscines restent ouvertes plus tard pendant les avertissements de chaleur intense; et 3) des patrouilles de rue distribuent des jetons de transport gratuits aux personnes qui ont besoin de se rendre dans un centre de rafraîchissement.

Toronto a connu un nombre record d'alertes de chaleur intense et de chaleur extrême en 2005. Malgré la mise en œuvre complète du plan d'intervention en période de canicule, il est néanmoins survenu un certain nombre de décès liés à la chaleur, sur lesquels on a ouvert des enquêtes, et des appels ont été lancés pour améliorer les centres de rafraîchissement et les faire ouvrir dès le déclenchement de l'avertissement de chaleur intense, sans attendre l'alerte de chaleur extrême. On s'inquiétait particulièrement du fait que de nombreuses personnes vulnérables n'ont pas accès à la télévision, à la radio ou à un téléphone et risquent de ne pas être informées du déclenchement des alertes de chaleur ou de canicule. Les services de santé publique de Toronto ont alors lancé dans toute la ville une vaste campagne ciblée d'information auprès des propriétaires et des locataires pour les sensibiliser aux risques liés à la chaleur, notamment pour les personnes prenant des médicaments utilisés en psychiatrie ou autres.

La région de Peel est en train de mettre au point un plan d'intervention en période de chaleur accablante basé sur le modèle de celui de Toronto, tandis que celle de Waterloo, la municipalité régionale de Halton et les villes de Kingston et d'Ottawa ont mis en place des systèmes d'avertissement reposant sur les indices Humidex émis par Environnement Canada. Ces deux dernières municipalités ont aussi inclus des informations sur la qualité de l'air dans leurs avertissements de chaleur intense.

de production d'électricité. Cheng *et al.* (2005) ont fait des projections de la qualité de l'air pour les régions de Windsor, Toronto et Ottawa, et ont conclu que les décès prématurés liés à la pollution de l'air pourraient y augmenter de 15 à 25 p. 100 et de 20 à 40 p. 100 d'ici à 2050 et 2080 respectivement.

À l'heure actuelle, le ministère de l'Environnement de l'Ontario calcule et publie un indice de qualité de l'air pour 37 communautés urbaines et rurales dans l'ensemble de la province, et publie toute l'année des prévisions de qualité de l'air. Ces initiatives contribuent beaucoup à réduire l'exposition des personnes vulnérables les jours où la qualité de l'air est mauvaise. De nombreuses municipalités de

la sous-région sud ont mis en place leur propre plan d'intervention en cas de smog, en suivant des directives de la province (ministère de l'Environnement de l'Ontario, 2005). Ces plans mettent souvent l'accent sur les mesures de réduction des émissions susceptibles de limiter la contribution immédiate de la localité aux niveaux de pollution, mais ils recommandent aussi aux habitants, par exemple, de limiter leurs activités physiques en plein air afin d'éviter de trop s'exposer aux polluants atmosphériques.

Phénomènes météorologiques extrêmes

Les phénomènes météorologiques extrêmes et les catastrophes naturelles qui les accompagnent peuvent avoir des conséquences directes et indirectes graves sur la santé humaine. Dans les 55 dernières années, la sous-région sud a connu un certain nombre de phénomènes météorologiques extrêmes remarquables, notamment l'ouragan Hazel en 1954, la tornade Barrie en 1985, la tempête de verglas de 1998 et la tempête de neige de Toronto en 1999 (Mills *et al.*, 1999; Chiotti *et al.*, 2002). La tempête de verglas de 1998, qui, au Canada, s'est abattue sur l'est de l'Ontario, le sud du Québec et certaines parties des provinces de l'Atlantique, a provoqué la mort de 28 personnes, et on évalue à 60 000 le nombre de blessés et à plusieurs dizaines de milliers celui des personnes ayant souffert de stress post-traumatique (Edwards *et al.*, 1999; Kerry *et al.*, 1999; Chiotti *et al.*, 2002).

Les modèles climatiques prévoient que la fréquence de certains types de phénomènes météorologiques extrêmes augmentera à mesure que la planète se réchauffera (p. ex., *voir* le chapitre 2; Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007). L'expérience passée fait craindre de graves conséquences pour la santé (Chiotti *et al.*, 2002). Outre les décès et les blessures directement imputables aux catastrophes naturelles, on dénombre également des conséquences indirectes telles que les blessures dues à de graves accidents de la circulation souvent provoqués par des phénomènes météorologiques extrêmes (Andrey et Mills, 2003) et les maladies dues à la propagation de moisissures toxiques et à une mauvaise qualité de l'air intérieur lorsque des habitations ou des bâtiments ont été inondés.

Maladies transmises par des vecteurs et des rongeurs

Le changement climatique à venir pourrait produire des conditions plus favorables à la résurgence et à la propagation de maladies transmises par des vecteurs et des rongeurs, comme en témoigne la récente propagation de la maladie de Lyme (Ogden *et al.*, 2004; 2005, 2006 a-c). On estime que l'aire de répartition de la tique occidentale à pattes noires (*Ixodes scapularis*), vecteur de la bactérie responsable de la maladie, est restreinte par la température, la densité des oiseaux migrateurs au printemps et les habitats boisés (Ogden *et al.*, 2004). Bien que cette tique ait été de tout temps isolée sur les rivages nord du lac Érié et du lac Ontario, on a récemment découvert que des oiseaux migrant vers le nord au printemps transportaient le *I. scapularis* sur de grandes distances vers le nord et l'ouest, au-delà des frontières de l'Ontario et jusque dans les provinces voisines (Ogden *et al.*, 2006a). Les hausses projetées de température pourraient conduire à une expansion vers le nord des aires de propagation de la maladie de Lyme, ce qui pourrait porter la maladie à 1 000 km de son foyer originel, tout en augmentant fortement le taux de survie de la tique dans la sous-région sud (Ogden *et al.*, 2005a, 2006b). Les risques pour la santé actuels que représentent les tiques infectées sont dûment reconnus par les responsables des autorités sanitaires dans la sous-région sud (Charron et Sockett, 2005).

Le premier décès causé en Ontario par le syndrome pulmonaire à hantavirus (SPH), affection pulmonaire rare mais très grave transmise à l'homme par le contact avec l'urine, la salive et les excréments de rongeurs, a été enregistré à Owen Sound, en 1997 (*voir* la section 3.2.6; Egan, 1997). Sachant que les apparitions du SPH aux États-Unis ont été fortement influencées par les conditions météorologiques (Glass *et al.*, 2000; Hjelle et Glass, 2000; Charron *et al*, 2003), l'évolution du climat est susceptible d'agir sur ce risque pour la santé en Ontario, en particulier dans les franges des zones urbaines où les humains et les souris sont appelés à entrer en contact (Chiotti *et al.*, 2002). Toutefois, il existe un certain nombre de mesures, parmi lesquelles le blocage de l'accès des rongeurs aux immeubles d'habitation et des mesures de précaution dans la manipulation des cadavres de rongeurs, qui peuvent être prises pour réduire l'exposition des humains au virus.

Parmi les exemples de maladies véhiculées par les moustiques qui tendent à se répandre du fait du changement climatique figurent le virus du Nil occidental et le paludisme (cf. Duncan *et al.*, 1997; Chiotti *et al.*, 2002). Le virus du Nil occidental a atteint l'Ontario en 2001, et sa propagation rapide à l'ensemble de la province a été corrélée à des conditions météorologiques favorables au vecteur hôte (Chiotti *et al.*, 2002). Les cas de paludisme contracté dans le pays ne constituent pas aujourd'hui un problème sanitaire, bien que le climat puisse être propice aux espèces de moustiques qui en sont les vecteurs. L'importation de la maladie due à des voyages et à une immigration à la hausse, et sa résistance accrue aux traitements constituent des problèmes plus immédiats pour le système de santé (Chiotti *et al.*, 2002; Riedel, 2004).

Maladies d'origine hydrique

Les jeunes, les personnes âgées et les personnes au système immunitaire affaibli sont particulièrement sensibles aux maladies gastrointestinales d'origine hydrique. L'incidence des entérites infectieuses causées par les salmonelles et la bactérie *Escherichia coli (E. coli)* dépend des conditions météorologiques, en particulier les pluies abondantes et les fortes températures, et le changement climatique pourrait causer une recrudescence du risque de ces infections (Schuster *et al.*, 2005; Waltner-Toews, 2005). Des facteurs d'ordre non climatique, notamment l'étroite proximité avec les populations animales, les dysfonctionnements des systèmes de traitement de l'eau, le mauvais entretien des équipements et un traitement insuffisant des eaux, ont été liés à des proliférations antérieures de ces agents pathogènes par l'entremise de l'eau potable (Schuster *et al.*, 2005). L'expérience passée, dont l'épidémie de Walkerton décrite plus haut, indique que l'alimentation en eau de l'Ontario est vulnérable aux agents pathogènes d'origine hydrique dont la prolifération est induite par certaines conditions météorologiques (Richards, 2005). La protection des sources d'eau est une importante première étape de l'endiguement des risques de maladies d'origine hydrique (*voir* l'étude de cas 2). Auld *et al.* (2004) ont proposé de se servir de la surveillance et des prévisions météorologiques pour créer un dispositif d'alerte précoce qui avertirait les responsables des systèmes d'alimentation en eau des conditions météorologiques susceptibles d'augmenter le risque de contamination du réseau.

Rayonnement ultraviolet

Si le réchauffement projeté conduit à une plus grande pratique des activités de plein air, cette tendance s'accompagnera d'un risque accru d'exposition au rayonnement ultraviolet (UV; Craig, 1999; Chiotti *et al.*, 2002; Riedel, 2004). Les incidences sur la santé en seraient une augmentation des lésions cutanées temporaires (coups de soleil), des lésions aux yeux (p. ex., cataractes) et des cancers de la peau (Martens, 1998; Walter *et al.*, 1999). Toronto connaît déjà une augmentation du nombre de jours où le rayonnement ultraviolet mesuré est élevé ou extrême (Perrotta, 1999). Un indice UV, qui concerne l'ensemble du territoire canadien, est publié quotidiennement par les services de santé publique, soucieux de sensibiliser la population dans le cadre général des mesures d'adaptation aux risques pour la santé du rayonnement ultraviolet.

3.1.4 Agriculture

Les études traitant des effets du climat et du changement climatique sur l'agriculture dans la sous-région sud comprennent des analyses des adaptations technologiques, institutionnelles et comportementales qui réduisent la vulnérabilité aux risques climatiques des cultures, des systèmes et des populations agricoles (Bryant *et al.*, 2000; Wall *et al.*, 2007). L'agriculture possède une longue histoire d'adaptation réussie reposant sur la gestion des risques. C'est ainsi que les programmes de soutien à l'agriculture se sont révélés un mécanisme important face aux répercussions à court terme des sécheresses récentes, les paiements d'assurance-récolte versés de 2000 à 2004 ayant dépassé les 600 millions de dollars (*voir* la figure 20).

Le climat et l'agriculture sont liés par des rapports complexes, une large gamme de paramètres climatiques agissant sur la production des cultures et sur l'élevage : températures maximales et minimales, degrés-jours de croissance, durée de la période de croissance, précipitations et moment de survenue des pluies, phénomènes météorologiques extrêmes, épisodes de sécheresse, enneigement et périodes de gel. Le changement climatique exerce aussi un effet indirect sur la productivité agricole en régissant la viabilité des parasites, des espèces envahissantes, des mauvaises herbes et des maladies, et par son rapport avec d'autres problèmes atmosphériques comme les pluies acides et le smog. Les changements projetés des conditions agroclimatiques pourraient être bénéfiques à la production de nombreuses cultures, dont le maïs, le sorgho, le soya et certaines cultures fourragères, et entraîner une extension des cultures vers le nord (p. ex., Singh *et al.*, 1998; Andresen *et al.*, 2000). La production fruitière pourrait aussi profiter d'un allongement de la période de croissance et d'une augmentation des degrés-jours (Winkler *et al.*, 2002).

Cependant, la plupart des études d'impact ne traitent pas des effets que peuvent avoir les invasions de parasites ou d'autres perturbations, ni des répercussions des phénomènes météorologiques extrêmes, ni même des effets cumulatifs du changement climatique ou d'autres problèmes atmosphériques, comme le dépôt acide ou la pollution de l'air (Drohan *et al.*, 2002). Les projections basées sur les températures et les précipitations moyennes ne tiennent pas toujours compte de l'importante variabilité spatiale et interannuelle de l'agroclimat (Kling *et al.*, 2003). Quand des facteurs comme la fréquence et le moment de survenue de certains événements seuils (p. ex., les dates des gelées automnales et printanières) sont pris en considération, il appert que l'agriculture dans la sous-région sud de l'Ontario restera vulnérable aux accidents dus au froid printanier (Winkler *et al.*, 2002). En ce qui concerne la culture du raisin et les activités vinicoles, des températures hivernales plus douces ou un enneigement moindre pourraient avoir des effets néfastes sur la production du vin de glace, selon le moment de survenue et la fréquence des vagues de froid qui sont nécessaires à la récolte (Chiotti et Bain, 2000).

Le changement climatique devrait créer des conditions favorables aux organismes nuisibles pour l'agriculture et au développement des phytopathologies, qui auraient à leur tour des effets défavorables sur la production des cultures. On craint également que l'intensification des migrations, de la reproduction, de l'activité trophique d'insectes et d'acariens, s'ajoutant à un regain de la dynamique de leurs populations, n'entraîne un accroissement des pertes de récoltes (Lipa, 1999). De même, on prévoit que l'évolution du climat modifiera la répartition géographique des phytopathologies et mettra à l'épreuve les méthodes actuelles de lutte phytosanitaire (Chakraborty *et al.*, 2000). Le changement climatique aura une incidence sur la survie des agents pathogènes, sur le taux de progression des maladies pendant la période de croissance et sur la durée des épidémies annuelles pour la plante hôte (Boland *et al.*, 2003). On s'attend à voir les mauvaises herbes envahissantes réagir à la hausse des niveaux de CO_2 atmosphérique par de forts taux de croissance, qui seront peut-être également favorisés par une baisse d'efficacité des herbicides (p. ex., Archambault *et al.*, 2001; Ziska, 2004). Bien qu'il soit reconnu qu'un excès ou un déficit de précipitations peut avoir sur les maladies des plantes des effets plus prononcés que les conditions thermiques, la somme des recherches menées sur la gestion de ces maladies reste relativement modeste (cf. Boland *et al.*, 2003; Coakley, 2004; Guiterrez, 2000; Smit *et al.*, 2000).

Le changement climatique aura également des impacts directs sur la production animale. En effet, une augmentation du stress thermique pourrait se traduire par une baisse du gain de poids et de la production laitière chez les bovins, ainsi que par des réductions des taux de conception, et donc par des pertes substantielles dans la production avicole (p. ex, Owensby *et al.*, 1996; Kling *et al.*, 2003). Le changement climatique aura également une incidence sur les maladies des animaux et, par là-même, sur l'industrie des productions animales, en modifiant les chances de survie et en multipliant les insectes porteurs (tiques, moustiques) et les maladies qu'ils véhiculent, aujourd'hui encore considérées comme exotiques ou rares (Charron *et al.*, 2003). Des hivers plus cléments atténueront certains problèmes, comme la pneumonie chez les bovins adultes,

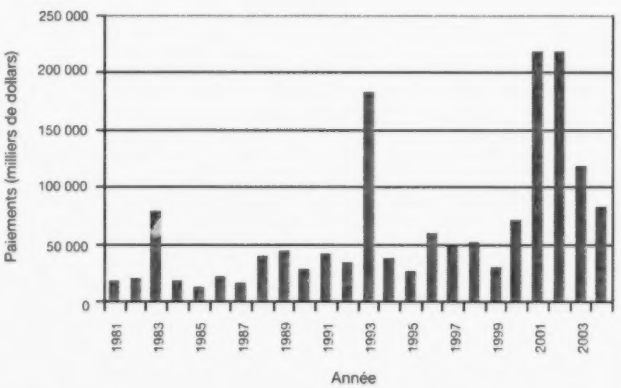


FIGURE 20 : Paiements d'assurance-récolte en Ontario de 1981 à 2004 (Statistique Canada, 2005).

mais ils pourraient aussi augmenter le taux de survie des parasites internes et externes des animaux. L'alimentation en eau du bétail peut être contaminée par le ruissellement dans les bassins versants où des pluies abondantes entraîneraient les bactéries et les parasites dans les réseaux de distribution. Au cours de sécheresses extrêmes, la possibilité que l'eau devienne toxique en raison de sa teneur en soufre et en cyanobactéries (algues bleu-vert) créera de graves problèmes pour la production bovine (Administration du rétablissement agricole des Prairies, 2003).

Les perceptions qu'ont les producteurs du risque climatique semblent varier selon le type de production agricole (Harwood *et al.*, 1999). Dans la sous-région sud, lors de rencontres de groupes de consultation thématique, les producteurs de cultures commerciales se sont montrés plus préoccupés par les impacts du changement climatique que les exploitants de fermes d'élevage (Reid, 2003). En général, les producteurs canadiens estiment que l'industrie agricole continuera d'apporter des solutions techniques adéquates à divers risques, y compris les stress liés au changement climatique et aux conditions météorologiques (Holloway et Ilbery, 1996; Brklacich *et al.*, 1997; Bryant *et al.*, 2000; Smit *et al.*, 2000).

Les producteurs sont inévitablement confrontés aux risques liés à la variabilité du climat d'une année à l'autre (Kling *et al.*, 2003), les plus grandes fluctuations des profits résultant de la variabilité des précipitations et de l'allongement des saisons sans gel (Brklacich et Smit, 1992). La capacité des producteurs individuels à gérer les risques, et à procéder à des adaptations, est fonction de nombreux facteurs, dont la taille et le niveau de diversification de leur exploitation. Les éleveurs, dont l'exploitation est souvent de taille relativement plus importante, seront davantage enclins à adopter une large gamme de mesures que les agriculteurs qui ont déjà diversifié leurs activités (Brklacich *et al.*, 1997). Les exploitations petites et moyennes seront relativement plus défavorisées dans les cas où le risque est plus élevé (Kling *et al.*, 2003).

La tempête de verglas de 1998, dont les producteurs de lait de l'Ontario ont davantage souffert que leurs homologues québécois, montre comment l'expérience peut modifier sensiblement le degré de vulnérabilité. Les exploitants agricoles de l'Ontario n'avaient généralement pas été exposés à de fréquentes coupures de courant avant cette tempête majeure, si bien que seuls 20 p. 100 d'entre eux possédaient des groupes électrogènes d'appoint (Kerry *et al.*, 1999). Depuis la tempête de verglas, il y a eu une augmentation substantielle du nombre de groupes électrogènes d'appoint dans les zones rurales, ce qui constitue une réaction d'adaptation.

Les producteurs de l'Ontario estiment que les conditions climatiques ont changé perceptiblement au cours des cinq dernières années, et les mesures qu'ils ont prises pour y répondre ont été les suivantes : pratiquer des cultures et utiliser des variétés différentes; modifier le drainage par tuyaux; avoir recours au travail de conservation du sol; modifier le calendrier des plantations et installer des systèmes d'irrigation (Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation - Agriculture, 2002; Wall *et al.*, 2007). Les producteurs de soya se sont adaptés aux stress climatiques récents en plantant des variétés nouvelles ou améliorées, en adoptant la rotation des cultures et en modifiant le calendrier de plantation (Smithers et Blay-Palmer, 2001). Les producteurs de tomates du sud-ouest de la région du sud ont adopté des mesures visant à réduire l'effet des sécheresses prolongées, notamment des systèmes d'irrigation améliorés inspirés de systèmes australiens. En 2002, l'une des années les plus sèches de l'histoire, les producteurs de tomates de l'Ontario ainsi équipés ont pu obtenir leur deuxième plus abondante récolte annuelle (Agriculture et Agro-alimentaire Canada, 2003). En raison des sécheresses, des baisses de débit des cours d'eau et de l'augmentation des demandes d'irrigation à l'échelle des collectivités, les producteurs de la sous-région sud travaillent avec des gestionnaires de l'eau locaux pour mettre sur pied des comités consultatifs chargés, d'une part, d'appliquer le principe du partage équitable et, d'autre part, de maintenir les débits nécessaires aux besoins des écosystèmes (Shortt *et al.*, 2004).

3.1.5 Énergie

Les changements des niveaux d'eau et des températures des Grands Lacs ont une incidence directe sur la production d'hydroélectricité dans la sous-région sud. Les changements passés du niveau des eaux (*voir* l'étude de cas 1) se sont traduits par une baisse de la production hydroélectrique qui a atteint jusqu'à 26 p. 100 dans certaines centrales et ont obligé à trouver des approvisionnements complémentaires en électricité auprès d'autres sources du Canada ou des États-Unis lors des pointes de consommation (Mercier, 1997; Smith *et al.*, 1998). En 1998, la baisse des niveaux d'eau, conjuguée à une chaleur estivale qui a fait augmenter la demande de climatisation, a mis sévèrement à l'épreuve le système de production et de transport d'électricité (Ligeti *et al.*, 2006). Au cours des dernières années, l'élévation des températures de l'eau des Grands Lacs a eu une incidence sur la production d'électricité des centrales nucléaires et des centrales thermiques alimentées au charbon en atténuant l'efficience de leurs systèmes de refroidissement; dans l'avenir, elle pourrait exiger de réduire la production de manière à ce que les limites de température des eaux rejetées puissent être respectées (Spears, 2003).

Le réseau de transport et de distribution de l'électricité est également sensible aux phénomènes météorologiques extrêmes. Les répercussions de la tempête de verglas de 1998 sur la sous-région sud ont été les plus graves dans la zone comprise entre Ottawa et Kingston, touchant quelque 600 000 consommateurs d'électricité, endommageant plus de 100 pylônes de lignes à haute tension et nécessitant le remplacement d'au moins 10 500 poteaux (Kerry *et al.*, 1999; Chiotti, 2004; *voir* également le chapitre 5). Un certain nombre d'orages et de tempêtes, généralement accompagnés de vents forts, ont perturbé le service dans des centaines de milliers de foyers au cours de la période de 12 mois débutant en septembre 2005 (*voir* le tableau 4; McMillan et Munroe, 2006). Les canicules estivales entraînent

TABLEAU 4 : Dommages causés par les tempêtes au réseau de transport et de distribution de l'électricité dans la sous-région sud de l'Ontario, de septembre 2005 à septembre 2006 (*tiré de* McMillan et Munroe, 2006).

Dates des tempêtes violentes	Usagers touchés (interruption de service)
29 septembre 2005	93 000
6 novembre 2005	120 000
16 novembre 2005	50 000
4 février 2006	100 000
17 juillet 2006	170 000
2 août 2006	150 000
24 et 27 septembre 2006	93 000

davantage de pertes dans les lignes de transport et de distribution de l'énergie électrique. En 2002, ces pertes atteignaient 11,5 kWh, soit 7,5 p. 100, de la fourniture totale d'électricité à la province (Commission de l'énergie de l'Ontario, 2004; Gibbons et Francassi, 2005).

La panne de courant qui a frappé le sud-est du Canada et le nord-est des États-Unis au cours de l'été 2003, si elle n'a pas été directement causée par la chaleur, témoigne cependant de la vulnérabilité du système de transport de l'énergie électrique et illustre le type de répercussions que l'Ontario pourrait connaître à la suite de coupures de courant à grande échelle. Bien que l'arrêt des opérations et le redémarrage des installations hydroélectriques, des centrales alimentées au charbon et des centrales nucléaires aient été bien coordonnés, la pleine capacité n'a été restaurée que 11 jours après le début de la panne (ministère de l'Énergie de l'Ontario, 2004; United States-Canada Power System Outage Task Force, 2004). Bien que le coût exact de cette panne reste inconnu, on sait que le produit intérieur brut du Canada montre un fléchissement de 0,7 p. 100 en août, qu'il y a eu une perte nette de près de 18,9 millions d'heures de travail et que les expéditions de produits manufacturés en Ontario ont baissé de 2,3 milliards de dollars (United States-Canada Power System Outage Task Force, 2004). La panne de courant a également mis en péril les personnes vulnérables, comme les aînés, les jeunes mères et les enfants qui avaient trouvé refuge dans des abris, et les personnes dans les unités de soins palliatifs (Ligeti *et al.*, 2006).

La modification du climat en faveur d'hivers plus cléments et d'étés plus chauds a contribué à ce que la pointe de demande d'énergie en Ontario se situe désormais en période estivale (Independent Electricity System Operator, 2006). La demande d'électricité décroît avec l'élévation des températures quotidiennes moyennes jusqu'à 18 °C environ, seuil auquel la demande d'électricité commence à grimper (*voir* la figure 21; Cheng *et al.*, 2001). Le nombre annuel de jours où le chauffage est requis a décru à Toronto au cours du XX^{e} siècle (*voir* la figure 22), le nombre le plus bas de jours de chauffage ayant été enregistré durant l'année la plus chaude de l'histoire (1998), en raison de températures hivernales inhabituellement clémentes (Klaassen, 2003; Chiotti, 2004). Plus récemment, la

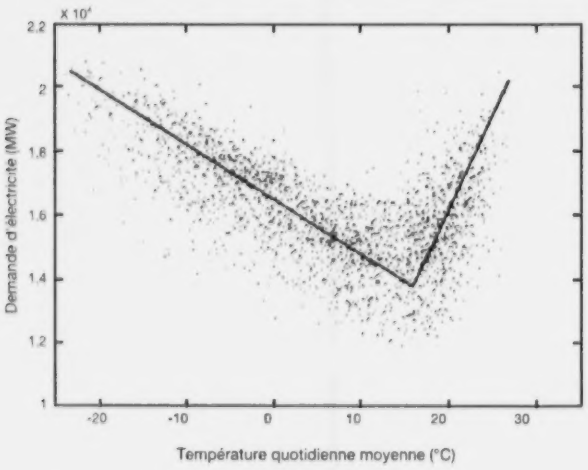


FIGURE 21 : Effet de la température quotidienne moyenne sur la demande d'électricité en Ontario (Cheng *et al.*, 2001).

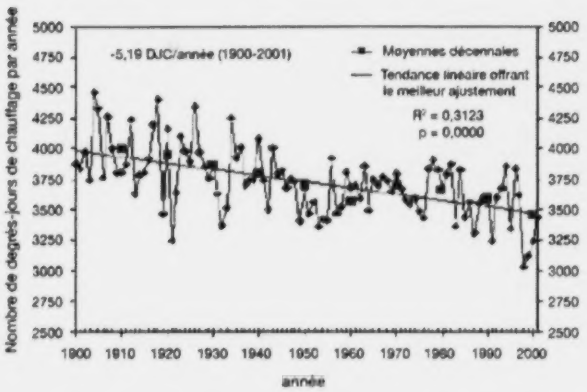


FIGURE 22 : Nombre de degrés-jours de chauffage (DJC) à Toronto, de 1900 à 2000 (Klaassen, 2003).

poursuite de cette baisse s'est traduite par une réduction de la demande de combustibles de chauffage, y compris le gaz naturel (Klaassen, 2003).

Les répercussions projetées pour 2050 des changements du niveau de l'eau des Grands Lacs (*voir* l'étude de cas 1) sur les installations hydroélectriques de la rivière Niagara et du Saint-Laurent vont d'une hausse de la production modeste à une baisse de 50 p. 100 de la production d'hydroélectricité, cette chute représentant une perte annuelle supérieure à 1 100 MW (Buttle *et al.*, 2004; nota : la présente analyse ne tient pas compte des contributions que pourraient apporter de nouveaux aménagements hydroélectriques). Cette baisse pourrait même être plus importante les années où le niveau des eaux est extrêmement bas (Buttle *et al.*, 2004). Une chute des niveaux de l'eau des Grands Lacs aura également une incidence sur le coût de l'acheminement du charbon alimentant les centrales thermiques (Quinn, 2002; Millerd, 2005). Si ces dernières sont encore en exploitation en 2050, le coût annuel moyen du transport de charbon depuis les ports américains du lac Érié et du lac Supérieur pourrait être de 13 à 34 p. 100 supérieur à celui de 2001 (Millerd, 2005). La poursuite du réchauffement des eaux des Grands Lacs entraînera une réduction de l'efficience du processus de refroidissement dans les centrales thermiques alimentées au charbon. La production a été réduite de 1 à 3 p. 100 au cours des étés chauds récents (Chiotti, 2004).

Les changements à venir de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes, en particulier les tempêtes de verglas, les tempêtes de neige abondante et les tempêtes de vent, vont probablement faire augmenter le risque d'interruption de la fourniture et de la distribution de l'énergie électrique. On prévoit, par exemple, une augmentation de la fréquence et de la durée des épisodes de pluie verglaçante dans l'ensemble de la sous-région, avec des augmentations plus importantes dans sa partie est (p. ex., Ottawa) et des augmentations plus modestes dans sa partie centre-sud (p. ex., Toronto; Klaasen *et al.*, 2003; Cheng *et al.*, 2007). Dans l'éventualité de futures défaillances catastrophiques du système de transport de l'électricité, les grandes régions urbaines risqueraient de connaître des pannes prolongées, puisque la part occupée par l'électricité produite localement dans la consommation électrique locale est très faible à Toronto (1,2 p. 100), à London (4,4 p. 100) et à Hamilton (0,8 p. 100; Gibbons et Fracassi, 2005).

La demande d'électricité dans la sous-région sud continuera de suivre l'évolution du climat, avec une hausse importante prévue de la demande estivale (*voir* la figure 23), bien que la demande mensuelle moyenne puisse encore être plus forte en hiver, en particulier durant les années inhabituellement froides (Klaassen, 2003). Les changements des degrés-jours de climatisation, qui entraîneront des changements de la demande d'électricité, sont sensiblement plus élevés que ceux des degrés-jours de chauffage, en fonction de la source de refroidissement utilisée (Conseil canadien des ministres de l'Environnement, 2003); c'est ainsi qu'une hausse de 1 °C des températures estivales aura sur l'énergie une incidence quatre à cinq fois plus importante qu'une baisse de 1 °C des températures hivernales (Cheng *et al.*, 2001).

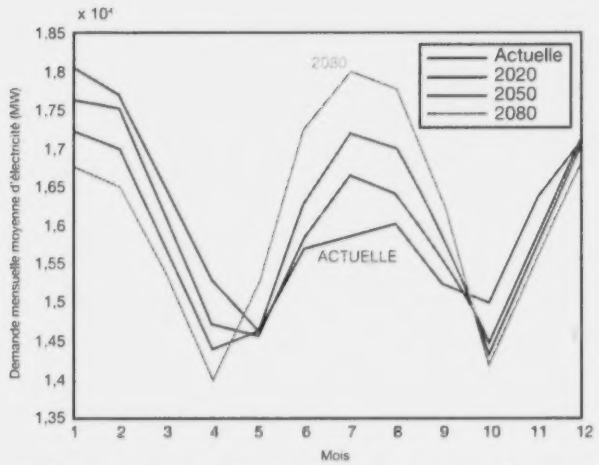


FIGURE 23 : Projections de la demande mensuelle moyenne d'électricité en Ontario due au changement climatique (Cheng *et al.*, 2001).

De nouveaux changements au panier de ressources énergétiques de l'Ontario deviendront nécessaires en raison d'une baisse de la capacité hydroélectrique des installations existantes du bassin des Grands Lacs et d'une hausse de la demande énergétique aux fins de climatisation en été. Certaines options, notamment le recours accru au charbon, ne seront probablement pas considérées comme viables dans l'avenir (Mirza, 2004), et l'accent sera mis davantage sur le nucléaire, le gaz naturel à cycle combiné, l'hydroélectricité encore non exploitée et d'autres sources renouvelables. Par exemple, il existe un potentiel d'énergie éolienne considérable dans la sous-région sud, en majeure partie sur les rives des Grands Lacs (*voir* la figure 6). On a estimé que le potentiel de l'énergie éolienne, de l'énergie solaire, de la biomasse et de nouvelles centrales hydroélectriques au fil de l'eau dépasse de beaucoup l'objectif proposé d'énergie verte de la province, soit 10 p. 100 de sa capacité énergétique totale d'ici à 2010 (Pollution Probe et Summerhill Group, 2004). Toutefois, aucune de ces sources renouvelables ne peut suffire à combler les augmentations à court terme des pointes de demande de façon aussi efficace que les grands aménagements hydroélectriques (Pollution Probe et Summerhill Group, 2004).

L'augmentation de l'efficacité énergétique ainsi que des changements de comportement chez les consommateurs devraient jouer un rôle important dans les mesures visant à réduire la demande totale. Les estimations extrêmes en matière d'efficacité énergétique sont de l'ordre de 50 p. 100 (ICF Consulting, 2005), tandis que des mesures d'adaptation comme le verdissement des toits et l'expansion des boisés urbains pourraient mener à de plus grandes économies d'énergie en réduisant l'effet d'îlot thermique urbain (Banting *et al.*, 2005). Peters *et al.* (2006) ont soutenu que des mesures d'efficacité énergétique dynamiques pourraient être mises en œuvre en Ontario assez rapidement et de façon rentable.

3.1.6 Transports

Transport maritime

Le réseau maritime des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent fournit un moyen commode, économique et relativement respectueux de l'environnement d'assurer le transport des marchandises (Millerd, 2005). Avec un trafic annuel de 200 millions de tonnes de marchandises, la voie maritime donne accès au cœur industriel de l'Amérique du Nord. Près de 50 p. 100 du trafic de la voie maritime s'opère en provenance ou en direction de l'Europe, du Moyen-Orient et de l'Afrique (Statistique Canada, 2005; Réseau des Grands Lacs et de la Voie maritime du Saint-Laurent, 2006; Transports Canada, 2006).

La plupart des navires exploités sont conçus spécifiquement pour la voie maritime afin de tirer le meilleur parti des profondeurs d'eau maximales dans les chenaux et les ports. Leur capacité utile diminue donc avec la baisse des niveaux de l'eau (*voir* l'étude de cas 1; Millerd, 2005). Selon la taille du navire, chaque perte de 2,5 cm de la hauteur d'eau se traduit par une perte de 100 à 270 tonnes de la capacité de transport (Lindberg et Albercook, 2000). En 2000, les navires de marchandises naviguant sur les lacs ont été obligés de réduire leurs cargaisons de 5 à 8 p. 100 et, en 2001, une proportion du ralentissement du trafic maritime (entraînant un manque à gagner de 11,25 millions de dollars) pouvait être imputable à la baisse des niveaux des lacs (AMEC Earth and Environmental, 2006; Groupe d'étude international sur le lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent, 2006). En octobre 2001, des vents forts soutenus sur le lac Érié ont fait baisser le niveau du lac de 1,5 m en dessous de son étiage, lequel était déjà bas, à son extrémité ouest, rendant pendant deux jours le lien entre les lacs Érié et Huron impraticable pour les grands navires (Conseil canadien des ministres de l'Environnement, 2003).

Parmi les mesures d'adaptation aux baisses futures des niveaux de l'eau des Grands Lacs figurent une réduction du tonnage des navires et le dragage des chenaux de communication et des ports, deux options qui représentent des coûts environnementaux et économiques considérables. Les augmentations projetées des coûts d'expédition maritime d'ici à 2050 vont de 8 à 29 p. 100 selon le type de marchandise, avec des augmentations plus importantes dans le cas du charbon, des agrégats et du sel, et plus faibles dans celui des produits pétroliers et des céréales (Millerd, 2005). Certains de ces coûts pourraient être compensés par un allongement de la saison de navigation grâce à des hivers plus cléments et par une réduction des frais de stockage d'hiver et de brise-glace, mais ces gains n'ont pas été évalués (Millerd, 2005). L'augmentation des coûts réduira l'avantage concurrentiel de l'expédition par bateau, qui pourrait être remplacé par d'autres modes de transport. Dans certains cas, des exploitations mises en place de manière spécifique pour bénéficier du mode économique

de transport par eau (comme l'extraction de gravier, les sablières et les carrières) pourraient cesser d'être viables (Millerd, 2005).

Il serait possible de recourir au dragage à grande échelle pour approfondir les chenaux et les ports, et garder les chenaux interlacustres ouverts à la navigation marchande. Les coûts estimatifs de ces opérations atteignent 31 millions de dollars américains par port sur les Grands Lacs des États-Unis, sans compter les coûts afférents aux infrastructures physiques (Changnon *et al.*, 1989; AMEC Earth and Environmental, 2006). Pour les 101 km de rivage que compte l'Illinois sur le lac Michigan, dont le port de Chicago, on estime que, sur 50 ans, il faudrait dépenser 138 à 312 millions de dollars pour effectuer dans les ports les travaux de dragage nécessaires afin de compenser une baisse de niveau du lac de 1,25 à 2,5 mètres. Dans une autre étude, on estime à 6,84 millions de dollars le coût des dragages nécessaires pour le port de Goderich, sur le lac Huron, si les niveaux d'eau venaient à baisser à un mètre sous l'étiage de février 2001 (Schwartz *et al.*, 2004). Les évaluations ne comprennent pas les coûts de traitement ou autres risques pour l'environnement associés aux matériaux contaminés qui seraient ramenés à la surface par le dragage (*voir* l'étude de cas 1; Moulton et Cuthbert, 2000).

Transport routier et ferroviaire

On s'attend à ce que les conséquences les plus importantes du changement climatique sur le transport terrestre dans la sous-région sud soient les dommages causés par la température aux réseaux de routes asphaltées et de chemin de fer, le déneigement et le déglaçage, et les dommages aux infrastructures liés aux pluies abondantes et autres phénomènes météorologiques extrêmes.

La variabilité du climat accélère la formation d'ornières, le craquage thermique et le soulèvement par le gel des chaussées. L'augmentation du nombre de journées chaudes et de l'intensité de la chaleur dans le sud de l'Ontario se traduira par un orniérage et un ressuage plus importants de l'asphalte sur les chaussées anciennes, ce qui nuira à la performance de la chaussée (confort de roulement) et aura des répercussions sur la sécurité et les coûts d'entretien (Mills et Andrey, 2002). Ordinairement, toutefois, les basses températures hivernales sont, davantage que la chaleur estivale, un problème au Canada pour les surfaces asphaltées. Les cycles de gel-dégel précipitent la détérioration des routes, en particulier dans les régions humides ayant un sol d'assise composé de sédiments de fine granulométrie (Haas *et al.*, 1999). Or, ces cycles sont devenus plus fréquents ces dernières années dans la sous-région sud, à l'exception de la ville de Toronto, où ils ont baissé (Conseil canadien des ministres de l'Environnement, 2003). En raison de l'augmentation de la fréquence des cycles de gel-dégel, le comté de Haldimand s'empresse de convertir ses routes à surface granulaire en routes à surface asphaltée (Brulé et McCormick, 2005). Bien que certaines études semblent indiquer que les cycles de gel-dégel diminueront de façon importante dans la sous-région sud d'ici à 2050 (p. ex., Andrey et Mills, 2003), une analyse approfondie portant sur Toronto conclut que le réchauffement projeté ne modifiera probablement pas de manière sensible le nombre des cycles de gel-dégel qui ont eu lieu au cours du dernier siècle (Ho et Gough, 2006).

Les voies ferrées peuvent subir un flambage sous l'effet des canicules estivales. Bien que le flambage soit appelé à être plus fréquent à l'avenir, les basses températures et les conditions hivernales sont aujourd'hui responsables d'une plus grande proportion de dégâts aux voies, aux aiguillages et au matériel roulant. Selon une analyse limitée, on peut s'attendre à ce qu'un climat plus clément se solde par un avantage net pour les infrastructures ferroviaires en Ontario (Andrey et Mills, 2003).

L'Ontario consacre environ 120 millions de dollars par an au déglaçage et au déneigement de routes relevant de la compétence de la province (Andrey *et al.*, 1999). Le déneigement et le déglaçage représentent aussi une part importante des budgets municipaux. C'est ainsi que la ville d'Ottawa a dépensé 53,9 millions de dollars en entretien de routes, d'emprises routières et de trottoirs pendant l'hiver 2004 (Ville d'Ottawa, 2005). Une évaluation a permis d'établir que les coûts totaux de l'entretien des routes pendant l'hiver 1998, pris en charge par le gouvernement provincial et des municipalités représentant 51,4 p. 100 de la population, ont atteint 273,5 millions de dollars (Jones, 2003). Les pluies verglaçantes que l'on prévoit plus fréquentes (Klaasen *et al.*, 2003; Cheng *et al.*, 2007) pourraient avoir pour conséquence de faire monter les frais de déglaçage dans certaines régions de la province au cours des 50 ans à venir, mais, dans l'ensemble, les frais de déneigement devraient décroître (Jones, 2003).

3.1.7 Tourisme et loisirs

Saison froide

La sous-région sud renferme la plupart des stations de ski alpin de l'Ontario, situées principalement le long des rivages sud de la baie Georgienne. Le raccourcissement prévu de la saison de ski va de 0 à 16 p. 100 pour les années 2020 et de 7 à 32 p. 100 pour les années 2050, avec un recours à la neige artificielle sans cesse croissant (Scott *et al.*, 2003, 2006). L'industrie du ski a eu, en janvier 2007, un avant-goût des défis qui l'attendent, quand un retard de la venue de l'hiver, des nuits douces et un enneigement insuffisant ont forcé Intrawest Blue Mountain, la plus grande station de ski de l'Ontario, à fermer pour la première fois de son histoire (Rush, 2006; Teotonio *et al.*, 2007).

La vulnérabilité des exploitants d'installations de ski aux impacts projetés est variable. Les grandes entreprises exploitant des pistes de ski sont généralement moins vulnérables aux conséquences du changement climatique que les petites entreprises. Cela s'explique par le fait que les grandes opérations sont souvent plus diversifiées, avec des activités et des biens immobiliers fonctionnant toute l'année, et qu'elles sont généralement plus en mesure d'investir de façon importante dans des équipements de pointe permettant la production de neige artificielle. Mais l'aspect le plus important reste le fait que les entreprises tendent à diversifier leurs activités, ce qui atténue le risque commercial que représente un faible enneigement en un lieu donné (Scott *et al.*, 2006).

La vieille tradition de la pêche sur la glace dans la sous-région est en déclin du fait de la réduction de la couverture de glace de lac et de l'insécurité des conditions qui l'accompagne. Au cours de l'hiver 1997-1998, la saison de pêche sur la glace dans le lac Simcoe a été plus courte de 52 p. 100 que celle de l'hiver 2000-2001, où les températures se sont rapprochées de la normale (Scott *et al.*, 2002). En 2002, l'absence de glace sur le lac Simcoe a entraîné l'annulation du championnat canadien de pêche sur la glace. Les festivals d'hiver peuvent également avoir à s'adapter au changement climatique; c'est le cas, par exemple, de la fameuse patinoire du canal Rideau, à Ottawa, un des tout premiers lieux de loisirs et une des attractions

principales du Bal de Neige. La saison de patinage a été d'une durée moyenne de 50 jours de 2001 à 2006 (Blackman, 2006). En 2002, elle a été l'une des plus brèves de l'histoire (avec 34 jours), et la saison 2006 a été marquée par une ouverture tardive et des fermetures sporadiques. Les organisateurs se sont adaptés en déplaçant des activités sur la terre ferme, en fabriquant de la neige pour les glissoires et en stockant des blocs de glace (destinés aux sculptures) dans de grands congélateurs (Blackman, 2006). Il est prévu que la saison de patinage démarrera plus tard et qu'elle durera en moyenne 43 à 52 jours dans la décennie 2020 et 20 à 49 jours dans les années 2050 (Scott *et al.*, 2005; Jones *et al.*, 2006).

Saison chaude

Bien qu'il soit prévu que la saison de la navigation de plaisance sera plus longue en raison de l'allongement de la saison sans glace, la navigation de plaisance et la pêche récréative sur les Grands Lacs subissent des conséquences fâcheuses quand les niveaux d'eau sont extrêmement bas (Thorp et Stone, 2000; American Sportfishing Association, 2001). Une enquête menée en 2001 dans les marinas du lac Ontario et du tronçon supérieur du Saint-Laurent a permis de constater que la fluctuation des niveaux d'eau avait eu un impact « majeur » ou « dévastateur » sur la majorité des répondants au cours des cinq années précédentes (McCullough Associates et Diane Mackie Associates, 2002). En réaction à la baisse des niveaux d'eau dans le lac Huron, le gouvernement fédéral a créé le Programme d'intervention d'urgence des Grands Lacs de 15 millions de dollars destiné à aider les propriétaires et les exploitants de ports de plaisance à payer le coût des travaux de dragage d'urgence (Scott et Jones, 2006a). Étant donné qu'on prévoit une augmentation de la fréquence des bas niveaux dans l'avenir, il est très probable que les ports de plaisance et les plaisanciers connaissent régulièrement des conditions similaires à celles de la période de 1999 à 2002 (Jones *et al.*, 2005). Les baisses prévues des niveaux d'eau auront également pour effet de réduire la navigabilité de certains chenaux en raison de l'affleurement de bancs de sable et d'une accélération de la croissance des plantes; les points de mise à l'eau de bateaux devront être déplacés et des restrictions pourront devoir être imposées à la taille et au tonnage des navires autorisés à naviguer sur certains plans d'eau (Jones *et al.*, 2005).

La pêche récréative en Ontario, la plus importante du Canada, est évaluée à plus de 1,5 milliard de dollars par an (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 2005a). Les changements des écosystèmes décrits plus haut pourront obliger les pêcheurs de poissons d'eaux froides à sortir de la sous-région sud (Minns et Moore, 1992). Cependant, il est prévu que la présence de l'achigan à petite bouche, un poisson d'eaux chaudes recherché pour la pêche sportive, se fasse sensiblement plus fréquente dans l'est du lac Ontario et dans les zones voisines (Casselman *et al.*, 2002). La durabilité de la pêche récréative peut dépendre largement de la sensibilisation des pêcheurs à ces modifications et de leur volonté de modifier leurs préférences en fonction des possibilités nouvelles. L'impact global du changement climatique sur la pêche récréative en Ontario demeure incertain, et les analyses devront examiner diverses mesures d'adaptation, dont des modifications de la stratégie d'empoissonnement des lacs (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 2005a).

D'autres importantes activités récréatives de temps chaud en Ontario devraient généralement profiter de l'allongement de leur saison dû au changement climatique, mais des adaptations seront nécessaires pour réaliser ces avantages. On prévoit que l'allongement de la saison de golf dans la région du Grand Toronto pourrait atteindre sept semaines au cours des années 2020 et 12 semaines au cours des années 2050, les terrains de golf devant connaître une augmentation de fréquentation de 23 à 37 p. 100 au cours des années 2020 et de 27 à 61 p. 100 au cours des années 2050 (Scott et Jones 2006b). Certains aspects de l'exploitation des terrains de golf, dont la sélection des gazons, l'irrigation et la lutte antiparasitaire, pourraient nécessiter des adaptations pour permettre cette augmentation des taux de fréquentation. La hausse des températures prolongera également les intersaisons des loisirs de plage et augmentera la demande pendant les mois d'été. Une analyse de la fréquentation des plages et de la baignade dans les lacs en plusieurs endroits de la sous-région prévoit un allongement de deux à quatre semaines de la saison d'ici les années 2020 et jusqu'à huit semaines au cours des années 2050 (Scott *et al.*, 2005).

3.2 SOUS-RÉGION CENTRALE

La sous-région centrale (*voir* la figure 1 et l'encadré 1) se caractérise par de vastes superficies aux faibles densités de population, de grands massifs forestiers et de riches gisements miniers. La majeure partie des recherches sur les impacts de la variabilité et du changement du climat dans cette sous-région ont porté sur les impacts ayant touché les écosystèmes, en particulier les écosystèmes aquatiques, et les perturbations des forêts (*voir* l'étude de cas 5). Les questions d'adaptation au changement climatique les plus préoccupantes concernent la durabilité économique des collectivités tributaires des ressources naturelles, dans les domaines notamment de la foresterie et du tourisme, et la vulnérabilité aux phénomènes météorologiques extrêmes des infrastructures de transport essentielles.

3.2.1 Écosystèmes

La totalité de la sous-région centrale est comprise dans l'écozone du Bouclier boréal. L'évolution du climat entraînera un déplacement des écosystèmes, y compris des changements de la répartition des différentes espèces. Certaines indications paléoécologiques révèlent que, durant les intervalles chauds du passé (il y a environ 3 000 à 7 000 ans), les habitats thermiques permettaient aux forêts décidues de s'étendre vers le nord jusqu'à Timmins (Liu, 1990). Néanmoins, les changements d'ensemble de l'écosystème seront limités par les taux de migration propres à chaque espèce ainsi que par un grand nombre de facteurs environnementaux, dont le type de sol, les couloirs de migration et la présence d'espèces pollinisatrices (p. ex., Cherry, 1998; Thompson *et al.*, 1998; Loehle, 2000). C'est ainsi que les essences plus méridionales (p. ex., celles des forêts de chêne et de caryer du sud-ouest de l'Ontario, du centre-sud du Minnesota et du Michigan) auraient besoin de plusieurs siècles pour migrer naturellement jusque dans le centre de l'Ontario, même si des habitats climatiques adéquats s'y établissaient au cours des décennies à venir (Davis, 1989; Roberts, 1989). Le retard de la réaction de l'espèce aux changements du climat régional pourrait donc entraîner une réduction de la biodiversité locale (Malcolm *et al.*, 2002).

L'impact net du changement climatique sur la productivité de la forêt sera fonction de l'allongement de la période sans gel, des températures pendant la saison de croissance et des concentrations atmosphériques de CO_2, ainsi que des modifications de l'apport d'humidité et des régimes de perturbation. L'allongement et le réchauffement des périodes de croissance, et l'augmentation de la

fertilisation par le CO_2 auront un effet favorable sur la croissance des arbres (p. ex., Colombo, 1998; Chen *et al.*, 2006). Aux endroits où l'apport en humidité et en nutriments du sol constitue en ce moment un facteur limitatif, les effets positifs de la hausse des températures et des concentrations de CO_2 pourraient cependant être minimes (p. ex., Jarvis et Linder, 2000). En outre, l'accroissement des teneurs en CO_2 aura pour effet d'accélérer la croissance des graminées et d'autres espèces du sous-étage, ce qui risque de retarder la régénération de la forêt après les perturbations (p. ex., Gloser, 1996; Wagner, 2005).

Dans la forêt boréale, les principales sources de perturbation naturelle sont les proliférations d'insectes, les maladies, les incendies et le vent, qui sont tous sujets à subir l'influence du changement climatique. Le feu fait partie intégrante de l'écosystème du Bouclier boréal. Dans l'extrême sud de la forêt boréale, où on pratique la suppression des incendies, les superficies brûlées se limitent à 0,11 p. 100 par an de la superficie forestière totale (Ward *et al.*, 2001). Depuis 1963, la saison des feux s'est allongée de jusqu'à huit jours dans de nombreux écosystèmes ontariens dominés par la forêt boréale (R.S. McAlpine, données non publiées, 2005). La sécheresse et les températures élevées créent parfois des conditions qui rendent inefficaces les techniques actuelles de suppression des incendies. Il y a un lien évident entre le risque de feu de forêt et les répercussions des ravageurs et des maladies des forêts, car les arbres morts augmentent la charge de combustibles (voir l'étude de cas 5; Fleming *et al.*, 2002). Weber et Flannigan (1997) ont conclu que les changements des régimes de feu pourraient avoir davantage d'influence sur les écosystèmes forestiers boréaux au XXI^{e} siècle que les changements touchant la productivité et la composition taxinomique. La multiplication future des feux de forêt accélérera la disparition de peuplements (Flannigan *et al.*, 2005), ce qui conduira à une augmentation du nombre d'écosystèmes de début de succession dominés par des espèces adaptées au feu, telles que le pin gris, l'épinette noire, le bouleau blanc et le tremble. De même, les répercussions des phénomènes climatiques extrêmes, comme la sécheresse, se feront sentir sur la composition de la forêt, les déficits récurrents d'humidité dans le sol favorisant les essences résistant à la sécheresse (Grime, 1993; Bazzaz, 1996; Hogg et Bernier, 2005), notamment le pin gris, l'épinette blanche et le tremble, aux dépens d'essences comme l'épinette noire et le sapin baumier.

La tordeuse des bourgeons de l'épinette est aujourd'hui l'insecte forestier causant le plus de dégâts en Ontario (*voir* l'étude de cas 5; Candau et Fleming, 2005). Depuis la fin des années 1980, l'Ontario a connu des proliférations répétées de ce ravageur, qui ont entraîné le dépérissement de vastes superficies de terrains forestiers (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 2004). La susceptibilité aux maladies est accrue par le stress imposé aux arbres hôtes, notamment le stress hydrique (p. ex., McDonald *et al.*, 1987; Greifenhagen, 1998). La faible capacité de rétention d'eau des sols minces, qui sont fort répandus dans cette sous-région, les rend particulièrement sensibles aux effets de la sécheresse (Greifenhagen, 1998).

Parmi les conséquences prévues du changement climatique sur les forêts boréales de la sous-région figure la possibilité de l'arrivée du dendroctone du pin ponderosa, dont la présence est aujourd'hui restreinte à la Colombie-Britannique et au nord-est de l'Alberta (*voir* les chapitres 7 et 8). Le réchauffement prévu pourrait permettre à ce parasite d'atteindre l'Ontario vers le milieu du siècle (Logan et Powell, 2001; Logan *et al.*, 2003) et de causer de graves dégâts aux grandes forêts de pins gris, de pins blancs et de pins rouges (Parker *et al.*, 2000). Les autres conséquences appréhendées sont une augmentation de la gravité des feux de forêt dans l'ensemble de la sous-région (McAlpine, 1998) et une augmentation de la superficie brûlée moyenne (Flannigan *et al.*, 2005). L'effet combiné des hausses de température et de l'accentuation de la sécheresse peut faire atteindre un point de bascule au-delà duquel la suppression des incendies n'est plus possible (Flannigan *et al.*, 2005).

Comparativement, on n'a accordé que peu d'attention aux impacts du changement climatique sur la faune du Bouclier boréal, mais la surveillance environnementale a fourni des indications sur la sensibilité au climat de certaines des espèces boréales (p. ex., Bowman *et al.*, 2005). Thompson *et al.* (1998) concluent que ce sont les grands animaux qui seront le plus touchés par les changements de la structure du paysage et ils prévoient une baisse sensible des populations d'orignal, mais une augmentation du nombre des cerfs de Virginie. Les répercussions sur les orignaux reflètent l'expansion vers le nord du cerf de Virginie, l'augmentation de la mortalité due au ver des méninges porté par celui-ci et l'accroissement de la prédation par le loup gris (Thompson *et al.*, 1998), phénomènes qui tous illustrent les liens complexes qui auront une incidence sur la répartition d'une espèce donnée.

Les rivières et les lacs abondants de cette sous-région abritent un grand nombre d'espèces de poissons, y compris des espèces d'eaux froides (< 15 °C), d'eaux tempérées (15 à 25 °C) et d'eaux chaudes (> 25 °C). À l'instar de la sous-région sud, le changement climatique projeté favorisera tout probablement l'expansion des espèces de poissons d'eaux chaudes, comme la perche à grande bouche, l'achigan à petite bouche, le crapet-soleil, le crapet de roche et le crapet arlequin, et fera subir un stress aux espèces d'eaux tempérées et d'eaux froides. Les données historiques révèlent que le recrutement chez les espèces d'eaux chaudes devient beaucoup plus important lorsque la température moyenne s'élève (Casselman, 2002). Une élévation des températures de 1, 2 et 3 °C à l'époque de la fraye se traduit respectivement par des facteurs de multiplication du recrutement de 2,0, 3,9 et 7,7 chez le crapet de roche (espèce d'eaux chaudes; Casselman, 2005). Les espèces des eaux tempérées et froides ont subi des effets adverses, les mêmes hausses de température à l'époque de la fraye se traduisant par une diminution de l'apparition de la truite de lac au printemps suivant, par des facteurs respectifs de 1,5, 2,4 et 20,1. La présence d'espèces d'eaux chaudes peut avoir des effets défavorables sur la croissance et la production des poissons d'eaux froides, car ces espèces peuvent s'avérer de plus habiles prédateurs (Vander Zanden *et al.*, 2004; Casselman, 2005).

3.2.2 Foresterie

En 2005, la valeur des exportations des industries forestière et connexes de l'Ontario s'est chiffrée à 8,4 milliards de dollars et ce secteur employait 84 500 personnes (Ressources naturelles Canada, 2006). La grande majorité des collectivités qui dépendent de la foresterie en Ontario se situent dans la sous-région centrale et le secteur forestier représente plus de 50 p. 100 des revenus d'emploi dans plus de la moitié de celles-ci (Ressources naturelles Canada, 2006). Outre les forces du marché international qui conditionnent la situation de l'industrie forestière dans l'ensemble du pays (*voir* le chapitre 9), le secteur forestier de l'Ontario doit aussi, aujourd'hui, faire face à une série de stress d'ordre non climatique. L'approvisionnement en bois à proximité des grandes

ÉTUDE DE CAS 5

Tordeuse des bourgeons de l'épinette et incendies de forêt

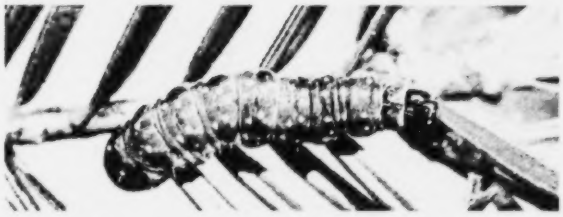


FIGURE 24a : Larves de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Source* : ministère des Richesses naturelles de l'Ontario).

FIGURE 24b : Forêt endommagée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Source* : Ressources naturelles Canada).

Un insecte forestier indigène à l'Amérique du Nord, la tordeuse des bourgeons de l'épinette, a causé des dégâts plus importants que tout autre insecte dans les forêts boréales d'Amérique du Nord (*voir* les figures 24a et b). Les larves de la tordeuse des bourgeons de l'épinette se nourrissent des fleurs, des cônes et des jeunes aiguilles de leurs hôtes préférés : le sapin baumier et l'épinette blanche (Candau et Fleming, 2005). Les dommages causés par cette défoliation nuisent au développement des peuplements forestiers et entraînent des épisodes de mortalité des arbres sur de grandes superficies dans les peuplements denses et matures, ces attaques se produisant selon un cycle récurrent d'environ 35 ans (Candau *et al.*, 1998). La prolifération la plus récente a duré de 1967 à 1999, le paroxysme de l'attaque ayant eu lieu en 1980, année au cours de laquelle 18,85 millions d'hectares ont subi une défoliation grave (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 2002). Ces infestations, qui se produisent plus fréquemment sur les marges plus chaudes de l'aire de répartition de l'arbre attaqué, semblent être liées aux épisodes de sécheresse dont on prévoit une augmentation de la fréquence dans l'avenir. Les gelées printanières tardives jouent également un rôle déterminant car elles mettent fin à ces proliférations dans le nord; or, on appréhende que ces gelées se feront moins fréquentes dans l'avenir (Volney et Fleming, 2000).

Dans les forêts dévastées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, les charges de combustible augmentent et y font croître le risque de feu, comparativement aux forêts non attaquées (Flannigan *et al.*, 2005). Bien que l'industrie forestière soit parvenue à sauver et à renouveler des parties importantes des superficies infestées durant la plus récente de ces attaques (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 2004b), il reste encore de vastes zones ravagées par cet insecte où les arbres morts ou moribonds constituent un risque d'incendie important. Face à ces massifs forestiers endommagés, les gestionnaires forestiers reconnaissent la valeur du feu dans le renouvellement de ces peuplements. La santé des forêts dépend du feu comme agent de conversion principal des peuplements infestés par les insectes et les maladies, ou endommagés par le vent, en peuplements où dominent des essences caractéristiques du stade de succession au feu (Centre interservices des feux de forêt du Canada, 2005).

Quatre grands volets ont été définis ayant trait aux stratégies d'adaptation conçues pour faire face aux perturbations des forêts et susceptibles de réduire la vulnérabilité et de promouvoir le rétablissement (Dale *et al.*, 2001). Il s'agit de :

- la gestion du système (p. ex., la plantation et l'entretien d'essences moins vulnérables au feu et aux insectes réduiront la vulnérabilité à ces perturbations);
- la maîtrise de la perturbation au moyen de mesures ou de manipulations préventives, comme la protection contre le feu;
- la gestion du rétablissement immédiatement après la perturbation (p. ex., la coupe de récupération) ou dans le cadre du processus de rétablissement lui-même (p. ex., le réensemencement);
- la surveillance, dans une optique de gestion adaptative, pour déterminer comment les perturbations agissent sur les forêts et pour constamment mettre à jour les connaissances au sujet des modalités par l'entremise desquelles le climat peut agir sur les régimes de perturbations.

usines de transformation déjà établies s'amenuise, situation qui oblige l'industrie à se déplacer vers le nord dans des zones où la récolte est plus coûteuse. La hausse des coûts de l'énergie en Ontario, qui a atteint jusqu'à 30 p. 100, a également été préjudiciable à l'exploitation forestière, à l'ouverture des routes et aux transports, et, dans certains cas, a été citée comme raison principale des récentes fermetures de scieries (Ressources naturelles Canada, 2006).

Les activités forestières menées à l'heure actuelle à certains endroits de la sous-région centrale se fient à la présence de sol gelé et de routes d'hiver pour mener à bien la récolte et le débardage. Le dégel hivernal impose l'arrêt de ces activités pour éviter l'orniérage et le compactage des routes par les engins de récolte et les débusqueuses. Les périodes de dégel hivernal et des conditions météorologiques printanières prolongées nécessitent également l'arrêt du débardage sur les chemins forestiers permanents qui seraient endommagés par des charges importantes. On prévoit que le nombre de ces interruptions des activités forestières augmentera à mesure que les hivers se feront plus courts et plus cléments. Une adaptation à ces conditions serait de construire davantage de chemins permanents, mais ceci représente des coûts importants.

Tel que mentionné dans l'analyse sur la sous-région centrale, les écosystèmes, le feu, les proliférations d'insectes et d'agents pathogènes, et le vent sont d'importants stress sensibles au climat qui touchent les forêts dans la sous-région centrale (*voir* l'étude de cas 5). Une évaluation récente (Munoz-Marquez Trujillo, 2005) des impacts du changement climatique d'ici à 2060 dans la forêt des rivières Dog et Matawin (à l'ouest de Thunder Bay) a conclu que l'effet combiné du changement climatique et de la récolte pouvait réduire la disponibilité de bois de 35 p. 100 par rapport à la période de référence s'étendant

de 1961 à 1990. Le principal facteur de cette réduction était l'intensification appréhendée des feux de forêt aboutissant à une forêt plus jeune. Les changements de la composition en essences ne seraient pas notables à court terme, mais on assisterait d'ici à 2060 à un transfert de dominance au profit des résineux et au détriment des feuillus (Munoz-Marquez Trujillo, 2005).

Si les taux de croissance des essences économiquement importantes diminuent en raison du stress hydrique, de la prolifération des ravageurs ou d'autres facteurs résultant du changement climatique, il peut être utile de pratiquer la récolte avant la détérioration du peuplement afin d'accélérer le processus de remplacement des types forestiers. Les peuplements dans lesquels les arbres sont trop petits aux fins de récolte commerciale peuvent néanmoins faire l'objet de coupes d'éclaircie en vue d'en favoriser la productivité et la santé, d'en retirer les arbres surcimés, endommagés ou de qualité médiocre et d'ainsi augmenter la vigueur des arbres restants (Wargo et Harrington, 1991). Durant les périodes de graves proliférations d'insectes, on peut avoir recours à des insecticides pour protéger les peuplements jeunes et réduire les pertes de volume ligneux.

Là où il est préférable d'opérer la régénération en recourant à des essences ou à des sources génétiques extérieures au peuplement existant, il serait nécessaire de replanter. Ainsi, des emplacements subissant un stress hygrométrique pourraient être régénérés à l'aide d'essences résistant à la sécheresse. La plantation forestière permet également de déplacer les espèces de leur aire de répartition actuelle à leur aire future (Davis, 1989; Mackey et Sims, 1993). Selon Mackey et Sims (1993), la migration des arbres peut être facilitée à court terme par la plantation limitée et à caractère expérimental de certaines essences dans des emplacements adéquats pouvant se situer jusqu'à 100 km au nord de la limite actuelle de leur aire de répartition. Compte tenu des incertitudes qui pèsent sur le moment de survenue et sur l'ampleur du changement climatique à venir, l'emploi d'un matériel de plantation représentant des populations largement adaptées et issues de mélanges de semences de provenances diverses constitue une stratégie d'adaptation à faible risque qui permet d'augmenter la probabilité que la régénération aboutisse et donne naissance à des forêts adaptées aux climats futurs.

Certaines espèces d'arbres non commerciales, espèces arbustives et herbacées réagissent mieux à des taux élevés de CO_2 que les essences nobles. Il faudra ainsi peut-être accroître la préparation mécanique ou chimique des emplacements et les soins sylvicoles subséquents en vue d'aider la régénération des essences commerciales (Dale *et al.*, 2001).

3.2.3 Gestion des ressources hydriques

La sous-région centrale se caractérise par son grand nombre de lacs et de rivières. Les tendances du passé révèlent que les petits lacs de l'écozone du Bouclier boréal sont plus sensibles à la variabilité et au changement du climat que les grands plans d'eau (Environnement Canada, 2004). Entre les décennies 1970 et 1990, l'écoulement fluvial dans le nord-ouest de la sous-région (région des lacs expérimentaux) a sensiblement baissé en réaction à la baisse des précipitations et à l'augmentation de l'évaporation. Les changements qui en ont résulté dans les lacs sont un allongement du temps requis pour le renouvellement des eaux, une hausse de la température des eaux, un allongement des périodes sans glace et des altérations de la chimie des eaux lacustres (Schindler *et al.*, 1996). On connaît beaucoup moins la sensibilité au climat des ressources hydriques dans le reste de la sous-région. Bien que la quantité des eaux de source ne soit pas, pour le moment, un sujet de préoccupation dans cette partie de la province et que l'on ne prévoie pas que la croissance démographique vienne y ajouter un stress supplémentaire, la baisse de la qualité des eaux liée au changement climatique pourrait faire augmenter les coûts de purification des eaux et compromettre les systèmes de traitement de l'eau déjà fortement sollicités dans certaines collectivités de Premières nations (*voir* la section 3.3.3).

La moitié des 46 inondations déclarées par les municipalités de l'Ontario entre 1992 et 2003 se sont produites dans la sous-région centrale (Wianecki et Gazendam, 2004). Il semble y avoir eu une modification récente des causes et des moments de survenue des inondations. Bien que, par le passé, l'écrasante majorité des inondations aient été liées au ruissellement de la fonte des neiges au printemps, entre 1990 et 2003, seules 34 p. 100 des inondations ont eu lieu au printemps (mars et avril), le reste, réparti sur l'année, étant dû à des pluies abondantes, à des épisodes de pluie sur neige et à des embâcles. Les inondations les plus destructrices ont été la conséquence d'une série de tempêtes très intenses qui ont éclaté entre le 8 et le 11 juin 2002 et lors desquelles 400 mm de pluie se sont déversés (*voir* l'étude de cas 3).

3.2.4 Transports

Plus de 32 milliards de dollars de minerai, de bois, de papier et d'autres produits sont produits et expédiés chaque année sur les routes de la sous-région centrale (ministère des Transports de l'Ontario, 2005), qui renferme des tronçons importants de deux grandes routes transcanadiennes (11 et 17). Le transport routier est particulièrement important dans cette sous-région où la faible population et les grandes distances rendent peu viables les autres modes de transport de passagers. De nombreuses petites collectivités dépendent du réseau routier pour accéder aux services essentiels que fournissent les centres urbains. Le réseau routier assure un lien physique entre l'est et l'ouest du Canada et une voie d'accès aux États-Unis (ministère du Développement du Nord et des Mines, 2006b). Lorsque ces voies de transport sont endommagées ou coupées, il s'ensuit de coûteux retards d'acheminement, et de nombreuses collectivités ont des difficultés à trouver des voies d'accès de remplacement.

Dans cette sous-région, les perturbations du réseau routier liées au climat seront vraisemblablement le résultat de précipitations extrêmes (pluie ou neige). La tempête de 2002, qui a causé des précipitations d'ampleur sans précédent (*voir* l'étude de cas 3), a entraîné la fermeture de routes principales et secondaires pendant une semaine ou davantage, et des ponts, des ponceaux, des voies ferrées, des résidences privées, des commerces et des exploitations agricoles ont été endommagés par les inondations qui l'ont accompagnée (Cummine *et al.*, 2004). Un pont provisoire a dû être installé pour rétablir la circulation sur la route transcanadienne entre Kenora et Thunder Bay. La ligne de chemin de fer du Canadien National (CN) reliant Winnipeg à Thunder Bay a été emportée par les eaux en plus de 30 endroits, l'un des ravins ainsi creusés mesurant près d'un kilomètre de largeur. L'augmentation prévue du nombre des épisodes de précipitations extrêmes, tendance que les données limitées dont on dispose sur cette zone permettent de confirmer (Wianecki et Gazendam, 2004), constitue donc un risque important pour les infrastructures de transport dans cette sous-région.

3.2.5 Tourisme et loisirs

Les pistes de ski alpin de l'Ontario se trouvent près de Thunder Bay. L'analyse de l'impact du changement climatique sur l'industrie du ski alpin dans cette zone semble indiquer que le raccourcissement des saisons de ski pourrait atteindre 17 p. 100 d'ici les années 2020 et 36 p. 100 d'ici les années 2050 (Scott et Jones, 2006a). Afin de maintenir la viabilité des activités, la production de neige artificielle devra s'intensifier. Cette mesure risque d'être très coûteuse pour les exploitants qui devront dépendre de la disponibilité d'une alimentation en eau adéquate.

À la différence de l'industrie du ski alpin, la pratique de la motoneige dépend de l'enneigement naturel et se trouve donc très vulnérable au changement climatique. Dans sept zones de motoneige réparties sur l'ensemble de la sous-région centrale, le raccourcissement moyen prévu de la saison pourrait être de 30 à 50 p. 100 d'ici les années 2020 et de 50 à 90 p. 100 d'ici les années 2050 (Scott *et al.*, 2002). Les tendances du marché récemment constatées montrent une baisse des ventes de motoneiges neuves et une augmentation des ventes de véhicules tout-terrain, comportement qui peut déjà refléter l'adaptation des amateurs de loisirs au climat en évolution (Suthey Holler Associates, 2003). Il convient de noter que le changement climatique n'a pas été pris en considération lors de l'élaboration d'un récent plan national canadien de développement touristique de la motoneige (Scott *et al.*, 2002).

3.2.6 Santé humaine

À l'heure actuelle, moins de 300 décès prématurés par année sont attribués à la pollution atmosphérique dans les sous-régions centrale et nord de l'Ontario (Ontario Medical Association, 2005), ce qui indique que ce problème y est beaucoup moins grave que dans les parties plus peuplées de la sous-région sud. Le stress associé aux canicules n'a pas, lui non plus, constitué jusqu'à présent un problème important. La multiplication de ces phénomènes provoquée par le changement climatique pourrait avoir des répercussions disproportionnées sur la santé et on a pu démontrer que la mortalité imputable à la pollution atmosphérique, et à une élévation des températures, est souvent plus forte parmi les populations qui n'ont pas l'habitude de ces conditions que parmi celles qui affrontent plus souvent des épisodes de smog ou de fortes chaleurs (*voir* Cheng *et al.*, 2005).

La sous-région centrale contient des habitats boisés susceptibles d'accueillir des populations de la tique *Ixodes scapularis*, et l'on prévoit ainsi que la maladie de Lyme pourrait gagner la majeure partie de la sous-région d'ici à 2050 (Ogden *et al.*, 2006c). Le virus responsable du syndrome pulmonaire à hantavirus (*voir* la section 3.1.3) a été retrouvé dans des souris sylvestres capturées dans le parc provincial Algonquin, près de la limite sud-est de la sous-région centrale de l'Ontario (Drebot et Artsob, 2000).

3.2.7 Énergie

Les centrales alimentées au charbon d'Atikoken et de Thunder Bay fournissent la majeure partie de l'électricité aux collectivités de cette sous-région par le réseau provincial de distribution. De l'électricité est aussi produite par des installations de cogénération brûlant du gaz naturel ou de la biomasse forestière provenant surtout de l'industrie des pâtes et papiers. On prévoit la fermeture des deux centrales alimentées au charbon d'ici à 2014. La demande d'électricité est aujourd'hui en baisse de façon générale dans la sous-région. Bien que les hausses prévues de la température puissent dans l'avenir faire croître la demande d'électricité en période estivale, il existe des possibilités considérables d'améliorer l'efficacité énergétique du système, en particulier au sein de l'industrie des pâtes et papiers et du secteur minier (ICF Consulting, 2005).

Les besoins futurs en électricité pourraient également être satisfaits par d'autres sources. La sous-région exploite déjà de grandes installations hydroélectriques au fil de l'eau (*voir* la figure 7), mais de nombreux barrages se font de plus en plus vieux et le changement des régimes de précipitations pourrait entraîner un dépassement de la capacité des réservoirs, portant à l'ordre du jour une éventuelle modernisation de ces infrastructures. L'énergie éolienne présente aussi un potentiel considérable, en particulier le long des rives nord du lac Supérieur (*voir* la figure 7). La biomasse pourrait constituer une autre option dans le cas de nombreux sites industriels, en particulier dans les usines de pâtes et papiers qui disposent, sur place, d'une source d'électricité et de chaleur dans les sous-produits de leurs activités manufacturières.

On prévoit des augmentations de la fréquence et de la durée des tempêtes de verglas dans les sous-régions centrale et nord de l'Ontario (Cheng *et al.*, 2007), facteur qui fait croître le risque climatique pour les réseaux de transport et de distribution de l'énergie électrique.

3.2.8 Exploitation minière

La plupart des collectivités qui dépendent de l'exploitation minière en Ontario se situent dans la sous-région centrale (Ressources naturelles Canada, 2001). Il y a plus de 25 mines en exploitation dans cette région, y compris des mines d'or, de métaux communs et du groupe du platine, ainsi que d'importantes exploitations industrielles de minéraux (Ontario Prospectors Association, 2007).

Tant la sécheresse que les précipitations extrêmes ont des répercussions sur les infrastructures minières. Les parcs à résidus miniers, aujourd'hui recouverts d'eau pour empêcher l'oxydation et le drainage acide, risquent de déborder, donc de libérer des matières contaminantes dans le milieu, lors de pluies abondantes (Mining Watch Canada, 2001; NorthWatch, 2001). La stabilité et l'intégrité des pentes des digues sont également vulnérables aux précipitations extrêmes. Les hausses de température entraîneront une augmentation de l'évaporation des parcs à résidus, provoquant ainsi l'exposition à l'air de résidus bruts et leur météorisation au contact de l'air. L'érosion éolienne des résidus miniers de fine granulométrie exposés à l'air pourrait contribuer à l'acidification du bassin versant (Nriagu *et al.*, 1998). Néanmoins, il y a moyen de gérer tous ces impacts potentiels, du moment que l'on applique les mesures d'adaptation appropriées déjà mises en œuvre ailleurs dans le secteur minier.

L'abaissement prévu du niveau des lacs et la réduction du débit des rivières constituent une conséquence à long terme plus préoccupante. Le temps chaud et sec de 2005 a fait baisser les niveaux d'eau dans l'ensemble du bassin versant, près des mines de Williams, David Bell et Golden Giant. Face à cette situation, des efforts ont été mis en œuvre pour réduire les prélèvements d'eau et recycler de plus grandes quantités d'eau de procédé. Des infrastructures ont également été mises en place afin de retirer l'eau des parcs à résidus, des puits et des carrières aux fins d'utilisation souterraine (Brown *et al.*, 2006).

3.2.9 Agriculture

L'agriculture n'occupe aujourd'hui qu'une place limitée dans l'économie de la sous-région centrale. Bien qu'un allongement de la saison de croissance et une augmentation du nombre de jours de croissance puissent ouvrir des perspectives d'extension de certaines cultures vers le nord, il est probable que les contraintes qu'imposent la qualité des sols et d'autres facteurs feront obstacle au développement de nouvelles grandes zones agricoles (Bootsma *et al.*, 2001, 2004). Les effets du climat en évolution sur l'élevage dans cette sous-région devraient être semblables à ceux de la sous-région sud (*voir* la section 3.1.4).

3.3 SOUS-RÉGION NORD

La sous-région nord (*voir* la figure 1 et l'encadré 1) reste la partie de l'Ontario la moins étudiée en ce qui concerne les répercussions du changement climatique (*voir* Smith *et al.*, 1998), et très peu nombreuses sont les recherches disponibles qui envisagent une adaptation. On ne dispose que de peu d'information au sujet des vulnérabilités actuelles potentiellement liées au climat. En raison de sa situation géographique, les principaux problèmes de cette sous-région sont semblables, dans certains cas, à ceux des parties nord des provinces adjacentes (*voir* les chapitres 5 et 7) et des Territoires du Nord-Ouest (*voir* le chapitre 3). Lors d'un récent atelier d'évaluation du risque portant sur les impacts du changement climatique sur les Autochtones et les collectivités du nord (Affaires indiennes et du Nord Canada, 2007), on comptait au nombre des questions présentant un intérêt particulier les répercussions sur les sources d'alimentation traditionnelle, l'augmentation du risque de feux de forêt et les impacts sur les infrastructures, notamment l'accès réduit aux routes d'hiver et l'appauvrissement de la qualité de l'eau. Le savoir traditionnel représente une source précieuse d'information sur la variabilité du climat et les répercussions sur les écosystèmes de cette sous-région (p. ex., McDonald *et al.*, 1997).

3.3.1 Écosystèmes

Les changements constatés dans les écosystèmes marins et terrestres de la sous-région nord reflètent principalement des changements récents intervenus dans le climat. C'est ainsi que les réductions de la proportion de morues polaires mesurée dans le régime alimentaire des petits du guillemot de Brünnich, près de l'île Coats (Territoires du Nord-Ouest), et la progression connexe du nombre d'espèces d'eaux chaudes comme le capelan et le lançon semblent indiquer que la communauté des poissons de mer dans le nord de la baie d'Hudson s'est modifiée, passant d'arctique à subarctique aux environs de 1997 (Gaston *et al.*, 2003, 2005). Ces changements ont été associés à une réduction de 50 p. 100 de la couverture glaciaire à la mi-juillet dans le détroit d'Evans, entre 1981 et 1999, phénomène qui reflète vraisemblablement une tendance au réchauffement général des eaux de la baie d'Hudson.

Les phoques annelés et les phoques barbus dépendent de la glace de mer dans les baies d'Hudson et James, qui leur offre une banquise à la fois sûre et prévisible pour la mise bas; de leur côté, les ours blancs ont besoin de la glace car c'est à cet endroit qu'ils s'accouplent et qu'ils chassent le phoque. La banquise qui se forme tous les ans dans l'est de la baie d'Hudson et de la baie James fond deux à trois semaines plus tôt qu'il y a 20 ou 30 ans (Gagnon et Gough, 2005), et l'on observe des tendances similaires dans le sud-ouest de la baie d'Hudson (Stirling *et al.*, 1999; Gough *et al.*, 2004). Une fonte précoce réduit la durée de la période dont disposent les ours blancs pour se nourrir de phoques et accumuler les réserves de lipides dont ils ont besoin pour traverser la saison libre de glace, période où ils se trouvent sur la terre ferme et n'ont qu'un accès limité à des aliments riches en protéines. La tendance à la diminution de la couverture de la glace de mer est la cause du déclin à long terme de l'état physique des ours blancs des populations de l'ouest et du sud de la baie d'Hudson (p. ex., Stirling *et al.*, 1999). Alors que la population du sud de la baie d'Hudson est restée stable, avec un millier de sujets environ, celle de l'ouest de la baie d'Hudson a régressé, passant de 1 200 individus environ en 1987 à moins de 950 en 2004 (Obbard, 2006).

Bien que les diminutions constatées de la couverture de la glace de mer n'aient pas encore eu de répercussions démontrables sur la reproduction des phoques annelés ou des phoques barbus, on s'attend à ce que les changements prévus des accumulations de neige et l'augmentation des épisodes de pluie au printemps aient des répercussions défavorables sur le succès de reproduction des phoques annelés en raison de l'affaiblissement ou de la destruction des gîtes de mise bas (Stirling et Smith, 2004). À court terme, ces phénomènes peuvent avoir des conséquences favorables pour la population d'ours blancs en augmentant la vulnérabilité des phoques annelés et de leurs nouveau-nés à la prédation, mais, à plus long terme, un déclin de cette importante espèce-proie aura à son tour des répercussions néfastes sur les populations d'ours blancs (Stirling et Smith, 2004). Les ours blancs de l'Ontario construisent souvent des tanières de maternité dans des éléments du pergélisol comme les palses (Obbard et Walton, 2004). Les changements prévus de l'étendue du pergélisol en raison de la hausse des températures de l'air et du sol (Gough et Leung, 2002) sont appelés à provoquer un effondrement des palses, ce qui aura des conséquences néfastes sur le succès de reproduction des ours blancs.

L'omble chevalier et l'omble de fontaine sont deux poissons anadromes qui utilisent les eaux marines et les eaux douces de la baie d'Hudson. Il s'agit de poissons d'eaux froides auxquels les changements de température des eaux seront préjudiciables, l'omble chevalier étant proche de la limite sud de son aire de répartition et l'omble de fontaine, de sa limite nord. Les hausses prévues de la température des eaux devraient restreindre l'aire de répartition de l'omble chevalier, tandis que celle de l'omble de fontaine devrait s'élargir (Chu *et al.*, 2005).

Les impacts du changement climatique sur les forêts sont un problème pour de nombreuses collectivités de l'écozone du Bouclier boréal (*voir* la section 3.2.1). Le changement climatique pourrait avoir pour conséquence de multiplier les superficies brûlées chaque année par un facteur de 1,5 à 5 d'ici la fin du siècle (*voir* également Ward *et al.*, 2001; Flannigan *et al.*, 2005). Les changements constatés au niveau des perturbations causées aux forêts par les insectes sont plus difficiles à prédire, car leur occurrence est régie par des facteurs climatiques complexes agissant de concert avec la biochimie et la phénologie de la plante hôte, ainsi qu'avec le cycle biologique des insectes ravageurs eux-mêmes et de leurs parasites (Scarr, 1988; Logan *et al.*, 2003). Des températures plus douces auront pour effet probable d'étendre les aires de répartition vers le nord et d'accroître les taux de croissance des insectes (Logan *et al.*, 2003). La tordeuse des bourgeons de l'épinette est l'insecte sylvestre qui, jusqu'à présent, a causé le plus de dégâts en Ontario (*voir* la section 3.2.1 et l'étude de cas 5), et il est prévu qu'elle causera des dommages encore plus grands dans les secteurs nord de la forêt boréale (Fleming et Candau, 1998).

3.3.2 Transports

Aucune des collectivités de la sous-région nord ont accès à des routes praticables en tout temps et, à l'exception des mois d'hiver, ne sont accessibles que par voie aérienne ou maritime. Durant les mois d'été, le port de Moosonee dessert par barge des collectivités voisines, fournissant ainsi des marchandises en vrac et des fournitures essentielles transportées jusque-là par train. Toutefois, la clé de l'approvisionnement de la plupart des collectivités de cette sous-région est le réseau de routes d'hiver, exploité de la fin de janvier à la fin de mars (*voir* la figure 25). La construction annuelle de 3 000 km de réseau routier autorise le transport à meilleur coût d'équipements lourds et de matériel et permet ainsi aux collectivités d'abaisser le coût de la vie et de réduire celui des plans d'aménagement d'installations (ministère du Développement du Nord et des Mines de l'Ontario, 2005). La nouvelle mine de diamants Victor, située à 90 km à l'ouest d'Attawapiskat, dépendra également des routes de glace et des routes d'hiver pour le transport des équipements et fournitures. Outre les avantages économiques directs qu'elles procurent, ces routes facilitent également les interactions sociales entre les collectivités isolées (ministère du Développement du Nord et des Mines de l'Ontario, 2006a; *voir* également le chapitre 7).

En 2005 et en 2006, l'ouverture de plusieurs tronçons du réseau des routes d'hiver, en particulier celles traversant des lacs et des rivières, a été retardée parfois de dix jours (Wawatay News, 2005a, b). Les hausses prévues des températures hivernales, de l'ordre de 4 °C à 6 °C d'ici à 2050, ne manqueront pas d'altérer la viabilité de ce réseau de transport saisonnier. Une étude menée sur la région de la rivière Berens, au Manitoba, sur la rive nord-est du lac Winnipeg, a conclu que la saison des routes d'hiver serait réduite de cinq jours d'ici aux années 2020 et de dix jours d'ici aux années 2050 (Blair et Babb, 2002). Tel que mentionné au chapitre 3, des modifications apportées à la construction des routes de glace pourraient neutraliser le problème causé par le réchauffement des hivers à court et à moyen termes; cependant, les mesures d'adaptation à long terme pourraient exiger le recours à l'aménagement de passages permanents des cours d'eau et, en fin de compte, à la construction de routes permanentes.

Le transport aérien joue un rôle déterminant dans la livraison des marchandises et services essentiels à de nombreuses collectivités du Nord, peu importe le temps de l'année. Là où des pistes d'aviation ont été aménagées sur le pergélisol, l'augmentation de la fonte saisonnière ou la disparition du pergélisol sous l'effet du changement climatique exigeront plus d'entretien et, probablement, la reconstruction de certaines installations.

3.3.3 Gestion des ressources hydriques

Bien qu'aucune évaluation des impacts du changement climatique sur la qualité des eaux n'ait encore été réalisée dans la sous-région nord, des baisses des débits ont été constatées pour les rivières Severn, Winisk, Ekwan, Attawapiskat, Albany et Moose de 1964 à 2000 (Déry *et al.*, 2005). La réduction des débits et la hausse des températures imposent des stress supplémentaires aux systèmes de traitement de l'eau, qui ont déjà atteint, voire dépassé, leur capacité à fournir de l'eau potable sans danger pour le consommateur.

FIGURE 25: Collectivités et réseaux routiers dans la sous-région nord et dans l'ouest de la sous-région centrale (*voir* la figure 1). Les routes et les pistes d'hiver permettent l'accès aux collectivités de la sous-région nord (ministère du Développement du Nord et des Mines de l'Ontario, 2006a).

Pour les collectivités situées dans les plaines inondables de cette sous-région, leurs infrastructures risquent d'être endommagées par les inondations de printemps et les embâcles. Les collectivités du nord étant petites et éloignées, elles se fient énormément aux voies d'évacuation d'urgence et doivent pouvoir être en mesure d'opérer cette évacuation quand elle se révèle nécessaire. Les inondations du printemps 1986, dues à des précipitations presque trois fois plus abondantes que la normale historique, ont fait deux victimes et exigé l'évacuation de 129 personnes du village de Winisk (Sécurité publique Canada, 2006). Le village d'Attawapiskat a été évacué en 1989, 1992, 2002 et 2004, chaque fois à cause d'inondations de printemps (Environnement Canada, 2005b; Sécurité publique Canada, 2006). En 2005 et 2006, les inondations de printemps ont forcé l'évacuation de 200 personnes de Kashechewan. L'impact des changements prévus des conditions climatiques sur les dangers d'inondation n'a pas fait l'objet d'une évaluation spécifique dans cette sous-région; cependant, l'augmentation des précipitations hivernales et l'avancement du printemps que l'on prévoit auront une incidence sur le moment de survenue des inondations de printemps et sur leur intensité. L'adaptation impliquera probablement que l'on procède à l'évaluation des dispositifs d'intervention en cas d'urgence et des processus de planification en place, y compris le déplacement d'immeubles, voire de collectivités entières, en fonction des indications mises en lumière par une évaluation détaillée des risques d'inondation à l'échelle locale.

3.3.4 Santé humaine

L'éloignement des collectivités de la sous-région nord présente un certain nombre de défis sur le plan de la santé humaine, qui viennent s'ajouter à la difficulté d'accès aux services de soins. C'est ainsi que l'impact du changement climatique sur les modes de vie traditionnels, en ce qui concerne notamment l'accès aux aliments traditionnels, constitue un problème important sur le plan de la santé (*voir* les chapitres 3 et 5). Bien que ces populations aient accès aux produits alimentaires coûteux venus du Sud, les aliments traditionnels représentent une proportion importante, à valeur nutritionnelle élevée, du régime alimentaire local. Dans une enquête menée à Fort Severn en 2002, 40 p. 100 des foyers ayant signalé avoir connu une insécurité alimentaire au cours de l'année précédente ont indiqué qu'ils comptaient sur la chasse et la pêche pour compléter leur alimentation (Lawn et Harvey, 2004). Le changement climatique exerce une incidence directe sur les écosystèmes, mais touche aussi l'accès aux territoires traditionnels (*voir* les chapitre 3 et 7), et ses conséquences se font aussi sentir sur la sécurité alimentaire et la disponibilité des médicaments traditionnels.

Les possibilités d'épidémies de maladies d'origine hydrique, soit un des risques principaux pour la santé dans la sous-région nord, vont probablement s'aggraver sous l'effet du changement climatique et, plus particulièrement, des phénomènes climatiques extrêmes. Plusieurs collectivités de Premières nations ont été identifiées comme ayant des systèmes de traitement de l'eau vulnérables (O'Connor, 2002; Commissaire à l'environnement et au développement durable, 2005). Deux collectivités (Kingfisher et Muskrat Dam Lake) figuraient sur la liste prioritaire de mars 2006 des 21 collectivités de Premières nations du pays identifiées comme ayant des systèmes de traitement de l'eau présentant des risques élevés (Affaires indiennes et du Nord Canada, 2006).

La partie méridionale de la sous-région nord contient des habitats boisés susceptibles d'accueillir des populations de tiques *Ixodes scapularis* (vecteurs de la maladie de Lyme) dont l'aire de répartition gagne vers le nord sous l'effet du réchauffement des températures. Une modélisation effectuée par Ogden *et al.* (2006c) indique que la maladie de Lyme pourrait toucher des collectivités dans cette région d'ici à 2080.

3.3.5 Énergie

Le chauffage domestique représente la plus grande part de la consommation d'énergie de la sous-région nord, soit près de 70 p. 100 des besoins en énergie des collectivités. En 2000, on comptait dans cette région 31 collectivités de Premières nations qui se trouvaient en dehors du réseau de fourniture d'électricité; 13 d'entre elles utilisaient des groupes électrogènes au diesel. L'électricité était fournie par ces systèmes à quelque 18 000 résidents représentant plus de 4 000 foyers (Zulak *et al.*, 2000). Or, la fourniture de carburant diesel est tributaire d'un réseau de routes d'hiver qui, pour les raisons présentées à la section 3.3.2, sera difficile à entretenir face au changement climatique prévu.

Au cours des dernières années, des efforts ont été mis en œuvre par les services administratifs fédéraux et les organisations autochtones pour promouvoir l'efficience énergétique, la conservation de l'énergie et le recours aux sources d'énergie renouvelables chez les collectivités de Premières nations, dans le cadre d'un effort national plus large de réduction des émissions de gaz à effet de serre (Neegan Burnside Ltd., 2004; Fox, 2006). Les énergies renouvelables ainsi encouragées sont la production d'électricité obtenue au moyen d'aménagements hydrauliques installés au fil de l'eau et de l'énergie éolienne, et il existe un potentiel considérable de mise en valeur de nouveaux modes de production d'énergie à partir de ces sources (*voir* les figures 6 et 7). La mise en valeur de sources d'énergie renouvelables à base communautaire est de plus considérée comme un outil de développement économique pouvant créer des emplois dans la collectivité locale (Venema et Cisse, 2004; Chiotti *et al.*, 2005). Ces initiatives ont également pour effet de renforcer la capacité d'adaptation, en réduisant la vulnérabilité de la collectivité en cas d'interruption de l'approvisionnement en carburant diesel assuré par le réseau des routes d'hiver.

3.3.6 Exploitation minière

On procède aujourd'hui dans la sous-région nord à des activités d'exploration étendues des ressources minérales, en particulier des diamants. Les installations de la mine de diamants Victor sont en construction dans les plaines hudsoniennes, à l'ouest d'Attawapiskat, et on trouve dans le Bouclier boréal des mines d'or actives et des mines jadis en activité qui produisaient une large gamme de minéraux. L'extrapolation faite à partir de l'expérience vécue dans d'autres régions du Canada fait craindre que des problèmes liés au climat ne se manifestent, notamment les difficultés d'accès par les routes d'hiver et l'effet de la dégradation du pergélisol, sur les ouvrages de confinement et autres infrastructures physiques (p. ex., *voir* le chapitre 3; Mining Environment Working Group, 2004; Arctic Climate Impact Assessment, 2005). Les impacts du changement climatique sur l'exploitation minière dans le Bouclier boréal font l'objet d'une analyse à la section 3.2.8.

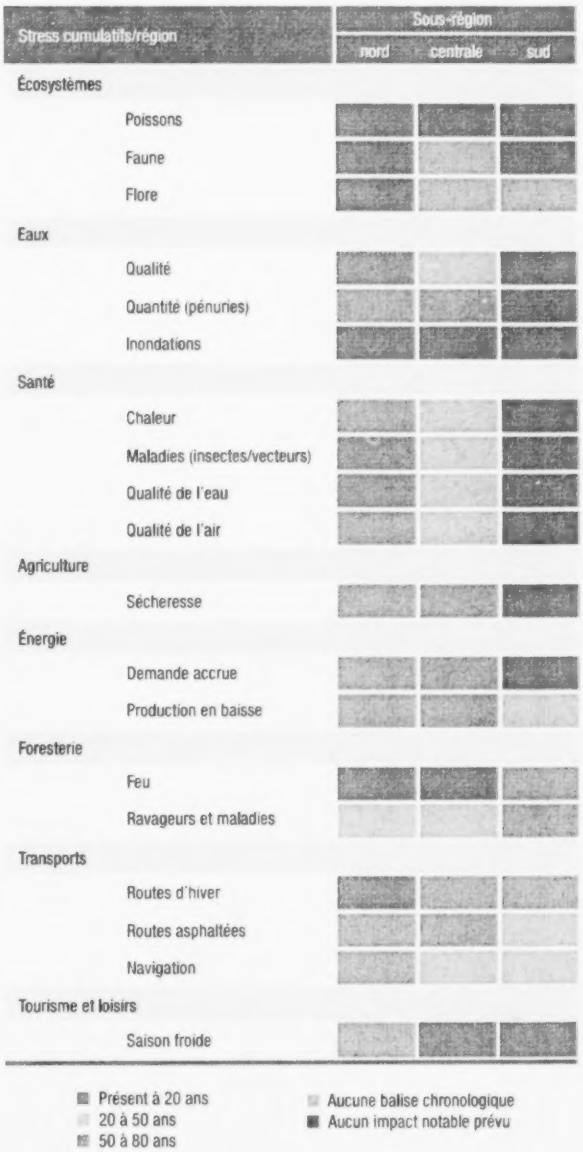
4 SYNTHÈSE

Le changement climatique présente des défis pour les systèmes écologiques, sociaux et économiques de l'Ontario. Dans de nombreuses parties de la province, les modifications du climat ont un effet visible sur les systèmes naturels et humains. Il s'agit entre autres d'un raccourcissement de la durée de la couverture de glace sur les lacs, d'une augmentation de la fréquence de certains phénomènes climatiques extrêmes et de déplacements d'écosystèmes aquatiques et terrestres. Les récentes répercussions sociales et économiques d'un raccourcissement des périodes d'utilisation des routes d'hiver, de l'augmentation du risque de feux de forêt, de la baisse des niveaux d'eau dans les Grands Lacs, des perturbations des activités de tourisme hivernal et de l'augmentation de la fréquence des épisodes de smog, et de chaleur extrême illustrent bien à quel point ces systèmes sont, tout à la fois, sensibles et vulnérables aux types de conditions climatiques dont on prévoit une occurrence plus fréquente au cours des 20 à 50 prochaines années.

Bien que l'ampleur et le moment de survenue du changement climatique prévu varient d'un endroit à l'autre de la province, l'Ontario en subira l'impact dans pratiquement tous les secteurs économiques. Les adaptations face à ces impacts exigeront de tenir compte des conséquences potentielles, tant économiques que sociales et environnementales, du changement climatique et de la probabilité que ces répercussions surviennent au cours de l'horizon de planification. Le tableau 5 résume les principaux impacts négatifs par sous-région et le cadre temporel général au cours duquel on s'attend à ce qu'ils causent des problèmes pour les systèmes sociaux et économiques. Les possibilités offertes par le changement climatique, décrites précédemment dans les sections traitant de l'agriculture, du tourisme de saison chaude et d'autres secteurs, ne figurent pas au tableau, mais il faudra assurer un certain degré d'adaptation pour pouvoir en tirer avantage au maximum. Bien que, des lacunes importantes persistent sur le plan des connaissances quant à la vulnérabilité des systèmes, on dispose généralement de suffisamment d'information pour déterminer les priorités à moyen et à long termes, et pour mettre en œuvre des actions d'adaptation de type « sans regrets » (*voir* le chapitre 10).

Sachant que l'adaptation anticipatoire exige le recours à des informations prédictives, la gestion du risque offre une approche pratique et crédible lorsqu'il s'agit de définir les mesures permettant d'atteindre des niveaux de risque acceptables pour la société (Bruce *et al.*, 2006). On trouvera un exemple de la manière dont cette approche, qui repose sur les normes promulguées dans *Risk Management : Guidelines for Decision-Makers* (gestion des risques : lignes directrices à l'intention des décideurs; Association canadienne de normalisation, 1997), peut être appliquée tout au long d'une séquence d'étapes que l'ouvrage intitulé *Adapting to Climate Change : A Risk-based Guide for Ontario Municipalities* (s'adapter au changement climatique : guide basé sur les risques à l'intention des municipalités de l'Ontario) définit très précisément (Bruce *et al.*, 2006; *voir* l'encadré 4).

TABLEAU 5 : Principaux impacts négatifs du changement climatique et apparition des « problèmes » par sous-région en Ontario.



ENCADRÉ 4

Étapes du processus de gestion des risques
(*tiré de* Bruce *et al.*, 2006)

« La gestion des risques est une approche systématique qui consiste à sélectionner la meilleure conduite à suivre dans certaines situations indéterminées en identifiant, en comprenant et en communiquant les risques, et en agissant pour les contenir. En matière d'adaptation au changement climatique, la gestion des risques fournit un cadre d'élaboration de stratégies d'adaptation en réaction aux changements potentiels du climat qui créent ou accroissent un risque... que l'objet soit un plan stratégique municipal d'adaptation au climat ou une étude plus petite sur une question spécifique comme les épisodes de pluie extrêmes, la chaleur, les questions de santé ou autres, la gestion du risque guidera le personnel vers des solutions optimales. » (Bruce *et al.*, 2006, p.6 [traduction])

Étape 1 : Pour commencer

1) Identifier le problème ou le danger spécifique et les risques qui l'accompagnent.
2) Identifier les intervenants et l'équipe de projet, en particulier les personnes possédant les compétences utiles.
3) Énumérer les responsabilités de chaque membre de l'équipe de projet et les ressources nécessaires pour compléter le cadre de gestion des risques.
4) Rédiger le plan de travail et estimer l'échéancier.

Étape 2 : Analyse préliminaire

1) Définir le danger lié au climat et les risques susceptibles d'entraîner des dommages, comme des blessures, des dégâts matériels, des dommages à l'environnement ou un préjudice d'ordre financier à la collectivité.
2) Identifier les issues possibles de la situation de risque.
3) Passer rapidement en revue le processus, de manière à définir la complexité du projet et le cadre temporel dans lequel les travaux pourront être menés à bien, et à se faire une idée de l'adéquation éventuelle de l'équipe et des moyens que l'on se propose d'affecter au projet.

Étape 3 : Estimation du risque

1) Identifier les fréquences d'occurrence et les conséquences de chacun des scénarios de risque.

Étape 4 : Évaluation du risque

1) Élaborer un processus de comparaison ou de classement de chaque scénario de risque.
2) Évaluer les risques en en examinant les coûts, les avantages et l'acceptabilité, compte tenu des besoins, des questions et des préoccupations des intervenants.
3) Identifier les risques inacceptables et les prioriser en vue d'appliquer des stratégies de réduction ou de maîtrise des risques.

Étape 5 : Décisions en matière de maîtrise des risques et d'adaptation

1) Identifier des stratégies viables pour ramener les risques inacceptables à des niveaux acceptables.
2) Évaluer l'efficacité des stratégies d'adaptation ou de maîtrise des risques, en établissant les coûts, les avantages et les risques des mesures d'adaptation proposées.
3) Sélectionner les stratégies optimales d'adaptation ou de maîtrise des risques et examiner l'acceptabilité des risques résiduels.

Étape 6 : Mise en œuvre et surveillance

1) Élaborer et mettre en œuvre le plan d'adaptation.
2) Surveiller et évaluer l'efficacité et les coûts des mesures d'adaptation.
3) Décider de poursuivre ou non le processus de gestion des risques.

De première importance sont les décisions de planification concernant les infrastructures physiques susceptibles d'impliquer de grosses dépenses en immobilisations qui doivent, de par leur durée de vie prévue, pouvoir résister aux changements des paramètres climatiques pendant de nombreuses décennies. L'industrie de la construction, les codes et normes du bâtiment, et l'aménagement du territoire n'évoluent que lentement et les décisions relatives à l'utilisation des terres et aux matériaux de construction sont souvent guidées par des intérêts commerciaux à court terme (Auld et MacIver, 2005). L'adaptation qui concerne les infrastructures devra tenir compte de la diversité des cycles de vie des ouvrages et de leurs cycles de remplacement (*voir* le tableau 6), en conjonction avec les changements projetés du climat (Auld et MacIver, 2005). La mise à jour des codes et normes en place, que l'on effectuera à la lumière des tendances discernables dans

TABLEAU 6 : Durée des cycles de vie des infrastructures (*extrait modifié tiré de* Auld *et al.*, 2006).

Ouvrage	Phase	Cycle de vie typique prévu (années)
Immeubles à usage commercial	Modernisation	20
	Démolition	50–100
Routes	Maintenance	Annuelle
	Resurfaçage	5–10
	Reconstruction ou modernisation majeure	20–30
Ponts	Maintenance	Annuelle
	Resurfaçage	20–25
	Reconstruction ou modernisation majeure	60–100
Chemins de fer	Rénovation majeure	10–20
	Reconstruction ou modernisation majeure	50–100
Aéroports	Rénovation majeure	10–20
	Reconstruction ou modernisation majeure	50
Barrages et alimentation en eau	Rénovation majeure	20–30
	Reconstruction ou modernisation majeure	50
Égouts	Reconstruction ou modernisation majeure	50
Gestion des déchets	Modernisation	5–10
	Rénovation majeure	20–30

l'histoire du climat, représente un point de départ possible aux efforts d'atténuation de la vulnérabilité des infrastructures (Auld et MacIver, 2005, 2006).

4.1 PRÉOCCUPATIONS PRINCIPALES

Les éléments réunis aux fins de la présente évaluation révèlent cinq sujets de préoccupation majeurs du fait de leur sensibilité au climat en Ontario : les infrastructures essentielles; la qualité et l'approvisionnement en eau; la santé et le bien-être des populations humaines; les collectivités éloignées ou tributaires de l'industrie primaire; et les écosystèmes gérés et non gérés. Le degré de vulnérabilité de ces systèmes à un climat en évolution dépendra de la réussite des mesures d'adaptation, qui, à leur tour, exigeront que l'on renforce et ait recours à la capacité d'adaptation existante.

Par infrastructures essentielles, on entend, dans la présente analyse, les systèmes de traitement et de distribution de l'eau, les équipements de production et de transport de l'énergie, et les réseaux de transport. Des perturbations de ces systèmes se sont produites dans toutes les sous-régions de la province ces dernières années, et on s'attend à ce qu'elles se produisent plus souvent au cours du présent siècle. Ces dernières années, des inondations causées par des phénomènes météorologiques violents ont perturbé les voies de transport et de communication, causant des dégâts évalués à plus de 500 millions de dollars. Des pannes de courant de longue durée, et touchant de vastes pans de territoire, ont été occasionnées par des défaillances des réseaux de transport et de distribution d'électricité. Les hivers plus cléments ont entraîné un raccourcissement de la période d'utilisation des routes d'hiver, limitant ainsi l'accès à des collectivités éloignées et aux ressources naturelles. La baisse des niveaux de l'eau des Grands Lacs a eu pour effet de faire croître les coûts du transport maritime en certaines saisons, et a entraîné une réduction de la production hydroélectrique. On prévoit que les niveaux d'eau continueront de baisser sous l'effet du changement climatique, situation susceptible de compromettre davantage le transport maritime sur les Grands Lacs et de mener à une réduction potentielle de la production d'hydroélectricité de plus de 1 100 MW d'ici à 2050.

Étant donné que les infrastructures doivent être résistantes, aussi bien aux conditions climatiques actuelles qu'à celles à venir, leur conception doit intégrer la variable du changement climatique. Cependant, les connaissances au sujet des impacts du changement climatique sur les infrastructures sont limitées et profiteraient de nouvelles recherches axées sur le raffinement des projections des répercussions régionales et des paramètres climatiques que l'on considère comme essentiels dans la conception des infrastructures, notamment les vitesses de vent maximales, les charges de neige et l'intensité des précipitations (Auld et MacIver, 2005). Dans la sous-région sud, les infrastructures se font de plus en plus vieilles, phénomène qui entraîne, de ce fait, l'augmentation de la proportion des infrastructures susceptibles d'être vulnérables aux extrêmes climatiques (Auld et MacIver, 2005). L'investissement dans des infrastructures de gestion de l'eau et des eaux usées devrait, à lui seul, coûter de 30 à 40 milliards de dollars durant les 15 années à venir en Ontario, dont 25 milliards de dollars en dépenses de renouvellement des équipements, le solde devant être affecté à la maintenance différée et à la croissance (ministère du Renouvellement de l'infrastructure publique de l'Ontario, 2005). Comme l'ont prouvé la tempête de verglas de 1998, la panne de 2003 et l'inondation de Toronto en 2005, tous les éléments des infrastructures essentielles sont étroitement liés, car la majeure partie de l'économie, de l'industrie et des collectivités urbaines de l'Ontario dépend de la livraison de type « juste à temps » et de services sans interruption (Auld *et al.*, 2005).

Selon les projections, la fréquence des **pénuries d'eau** déjà constatées dans la sous-région sud de la province risque d'augmenter avec l'élévation des températures estivales et des taux d'évaporation. Certaines parties du comté de Durham, des comtés de Waterloo et de Wellington, et le rivage du sud de la baie Georgienne, où les scénarios de croissance démographique indiquent que la population continuera de croître sensiblement, seront de plus en plus vulnérables aux pénuries d'eau au cours des 20 prochaines années. La législation actuelle fournit le cadre nécessaire pour faire face tant aux changements progressifs des conditions moyennes qu'aux changements de fréquence et d'intensité des épisodes de sécheresse. Aux termes de la *Loi sur l'eau saine*, la planification de la protection des sources doit être une tâche continue, orientée sur le long terme, car les nombreux facteurs d'ordre climatique et non climatique agissant sur les ressources hydriques vont évoluer. Le changement climatique peut donc être intégré dans des plans ultérieurs à mesure que l'on comblera les lacunes sur le plan des données, que des compétences se développeront et que l'expérience s'enrichira (*voir* l'encadré 5; de Loë et Berg, 2006). De même, la stratégie d'intervention en cas de baisse du niveau des eaux de l'Ontario assure à la province un degré de préparation lui permettant d'affronter des sécheresses extrêmes et constitue déjà une structure en place susceptible de l'aider à faire face à des sécheresses plus fréquentes.

ENCADRÉ 5

Intégrer l'adaptation

« La planification de la protection des sources en vertu de la Loi sur l'eau saine *a fait naître la possibilité remarquable d'intégrer le changement climatique. La planification de la protection des sources porte avant tout et nécessairement sur les facteurs qui menacent la sécurité de l'eau potable. Toutefois, aux termes de la* Loi sur l'eau saine, *ces facteurs sont classés en deux grandes catégories, selon qu'ils concernent la qualité de l'eau ou sa quantité. La Loi privilégie certains thèmes de préoccupation comme on ne l'avait jamais fait jusqu'à présent, notamment les rapports entre les sols et l'eau, et entre les utilisations de l'eau et l'approvisionnement en eau. Le changement climatique doit être considéré comme un facteur essentiel lorsque ces liens sont examinés dans le cadre de caractérisations et de bilans hydriques de bassins versants. » (de Loë et Berg, 2006 [traduction]).*

Les **risques à la santé** auxquels sont exposés les résidents de l'Ontario du fait du changement climatique comprennent les maladies, les blessures, les décès prématurés causés par des phénomènes météorologiques extrêmes, les vagues de chaleur et les épisodes de smog et ceux qui résultent des changements progressifs des conditions écologiques facilitant la propagation des maladies transmises par des vecteurs et des rongeurs. Chaque année, environ 6 000 résidents de l'Ontario décèdent prématurément à cause de la pollution atmosphérique, et les vagues de chaleur peuvent être un

facteur contributif dans 20 p. 100 des décès survenant dans les villes de la sous-région sud. Les systèmes d'alerte au smog sont répandus dans la sous-région du sud de l'Ontario (et dans certaines villes de la sous-région centre), et certaines villes du sud ont récemment instauré des systèmes d'avertissement de chaleur intense. La mortalité liée à la chaleur pourrait plus que doubler dans ces villes d'ici les années 2050, tandis que la mortalité imputable à la pollution atmosphérique pourrait progresser de 15 à 25 p. 100 pendant la même période. On prévoit une augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes, comme celui qui a contribué au déclenchement de l'épidémie d'*E. coli* à Walkerton (Ontario), entraînant la mort de sept personnes et provoquant quelque 2 300 cas d'infection. On doit également s'attendre à ce que les conditions climatiques en évolution favorisent l'expansion vers le nord de la maladie de Lyme, et le syndrome pulmonaire à hantavirus pourrait se révéler un autre risque pour la santé.

Les **collectivités éloignées et celles tributaires de l'industrie primaire** sont particulièrement sensibles à la variabilité et au changement du climat. Les sécheresses récentes, les inondations dues aux embâcles, l'augmentation de l'incidence des feux de forêt, le réchauffement des hivers et l'absence de gelées tardives au printemps ont posé des problèmes aux exploitations forestières et restreint l'accès aux collectivités et aux ressources. L'élévation projetée des températures hivernales continuera de faire raccourcir la période de l'année où les routes d'hiver sont praticables, limitant ainsi les possibilités de livraison de matériaux de construction, de produits alimentaires et de combustibles à un grand nombre des collectivités les plus septentrionales. L'augmentation de fréquence des incendies de forêts et des proliférations de ravageurs auront des incidences néfastes sur la santé et sur l'économie des collectivités vivant de l'industrie du bois, en particulier dans la forêt boréale de l'Ontario. Les collectivités qui cherchent à diversifier leur économie en développant le tourisme d'hiver devraient agir avec prudence, puisque la motoneige, le ski de fond et la pêche sur la glace sont vulnérables au changement climatique prévu à moyen et long terme.

Au cours des 30 prochaines, années, la vulnérabilité de nombreuses collectivités tributaires de l'industrie primaire en Ontario pourra s'accroître en même temps que l'âge moyen de leurs populations augmentera, que leur nombre diminuera et que les jeunes quitteront ces collectivités pour aller chercher du travail ailleurs (ministère des Finances de l'Ontario, 2006). Les impacts cumulatifs des changements du climat et d'autres facteurs auront des répercussions sur l'état de santé des habitants de ces collectivités et sur le niveau des services sociaux requis.

Les **écosystèmes de l'Ontario subissent aujourd'hui des stress** causés par l'effet combiné du climat, de l'activité humaine, du déplacement des espèces indigènes et exogènes et de perturbations naturelles comme le feu, les proliférations d'insectes et les épidémies. Les terres humides sont particulièrement sensibles aux changements du climat et à d'autres facteurs, et elles ont subi des pertes spectaculaires ces dernières années, en particulier dans la sous-région sud de l'Ontario. Des hivers plus cléments, des étés plus longs, et les changements des températures moyennes qui les accompagnent, ont entraîné une baisse des niveaux de l'eau des Grands Lacs, une hausse des températures des eaux et une baisse de l'humidité du sol disponible dans les forêts et les terres agricoles. Les changements constatés au niveau des espèces de poissons dominantes, qui révèlent que des espèces d'eaux froides ou tempérées cèdent graduellement leur place à des espèces d'eaux chaudes dans la sous-région sud, les modifications de la composition des écosystèmes aquatiques et terrestres dans la sous-région nord, et la baisse du nombre et de l'état de santé des ours blancs et des phoques sont autant d'exemples d'impacts déjà en cours. La poursuite de la baisse des niveaux de l'eau des Grands Lacs sous l'effet du changement climatique continuera de mettre en péril les terres humides qui, aujourd'hui, assurent l'intégrité des rives, freinent l'érosion, filtrent les matières contaminantes, absorbent les excédents d'eau pluviale et fournissent un habitat important aux poissons et à la faune en général. Les espèces envahissantes deviendront probablement plus nombreuses et plus abondantes dans les Grands Lacs.

Étant donné que le changement climatique aura des impacts sur toutes les espèces et tous les écosystèmes, les organismes chargés de la gestion des actifs naturels devront faire face à une pléthore de problèmes nouveaux au cours du XXI^{e} siècle. Par exemple, les changements induits par le climat dans les habitats et dans la répartition et l'abondance de la flore et de la faune modifieront le caractère de nombreux parcs et zones protégées établis et créés pour appuyer les efforts de conservation de la biodiversité, ce qui exigera d'apporter des changements fondamentaux aux stratégies de gestion déjà en place (Lemieux *et al.*, 2007).

4.2 VULNÉRABILITÉ ET CAPACITÉ D'ADAPTATION

Afin de s'adapter au changement climatique, il faudra que l'on prenne des décisions visant à réduire le degré de vulnérabilité aux impacts présents et prévus, mais il faudra aussi que l'on tire avantage des nouvelles possibilités. Ces décisions seront prises en fonction d'une myriade de facteurs d'ordre non climatique qui agissent sur les systèmes environnementaux, économiques et sociaux. La vulnérabilité au climat (actuel et futur) est conditionnée par divers facteurs sociaux, économiques, politiques et culturels qui, à l'instar du climat, ne sont pas statiques mais évoluent avec le temps. La réduction de la vulnérabilité aux risques actuels et le renforcement de la capacité des systèmes à s'adapter au changement des conditions constituent des objectifs d'adaptation efficaces, étant donné les incertitudes inhérentes aux projections du changement climatique. Les collectivités peuvent améliorer leur capacité de faire face au changement des conditions en sensibilisant leurs membres, en protégeant les plus vulnérables, en élaborant et en mettant en œuvre des mesures d'adaptation efficaces et en renforçant la résilience sociale (Crabbé et Robin, 2006).

La capacité d'adaptation est définie comme étant le « potentiel, les moyens ou la capacité d'un système de s'adapter aux stimuli du changement climatique ou à ses effets ou impacts » (Smit *et al.*, 2001, p. 894 [traduction]; *voir* le chapitre 2). Le tableau 7 présente une première caractérisation de certains déterminants de base de la capacité d'adaptation dans chacune des sous-régions de l'Ontario. Cette liste repose sur des statistiques de base, sur la documentation disponible (sans se limiter au thème du changement climatique) et sur le jugement des auteurs du chapitre. Elle n'est pas le produit d'une analyse exhaustive, mais elle est plutôt destinée à stimuler des analyses futures de la capacité d'adaptation. Il ressort de ce tableau que toutes les sous-régions ont leurs forces et leurs faiblesses en matière de capacité d'adaptation et qu'une connaissance plus approfondie de ces aspects peut aider à décider quelles seraient les mesures d'adaptation les plus souhaitables dans chaque région.

Les quelques travaux de recherche disponibles sur la capacité d'adaptation au changement climatique en Ontario concernent surtout les institutions. La capacité institutionnelle repose sur une bonne perception des risques et sur l'aptitude à intervenir rapidement et de manière anticipatoire. Les perceptions des risques liés aux impacts du changement climatique déjà survenus ou prévus sont largement fonction de l'expérience locale des phénomènes extrêmes et des répercussions graves, comme les tempêtes de verglas, les inondations et la contamination des puits. Les institutions peuvent tout à la fois faciliter l'adaptation et y faire obstacle.

Les points forts relevés en ce qui concerne les institutions de l'Ontario sont le haut degré de compétences en matière de gestion des eaux pluviales au sein des instances responsables de la conservation de l'eau, l'accès aux options technologiques disponibles, l'accès des municipalités à l'assurance réciproque et la persistance, la durabilité et la résilience des dispositifs institutionnels et sociaux. L'augmentation de la souplesse et de l'autonomie, dont doivent faire preuve les municipalités afin de choisir les réactions appropriées aux problèmes locaux d'ordre économique, environnemental et social, constitue un des objectifs de la Loi de 2001 sur les municipalités; elle contribue aussi à améliorer la capacité d'adaptation des décideurs locaux (Crabbé et Robin, 2006). Parmi les points faibles figurent les suivants : les chevauchements des compétences et les limites mal définies des domaines de responsabilité, la nécessité d'établir des conventions intermunicipales pour gérer les ressources communes aux différentes instances, le fait de compter sur la mise en œuvre volontaire de certaines activités clés, la restructuration des institutions, l'accès à des financements et à des expertises limités, en particulier dans les zones rurales, une répartition inégale des ressources, et le manque de compétences en ce qui a trait à l'impact du changement climatique sur les infrastructures bâties et les technologies d'adaptation disponibles (Ivey *et al.*, 2004; Crabbé et Robin, 2006).

Pour assurer l'efficacité de l'adaptation, les décideurs doivent être bien informés et bien comprendre les risques du changement climatique. Un sondage effectué récemment par la Division des forêts et la Division des ressources scientifiques et informationnelles du ministère des Richesses naturelles de l'Ontario a ainsi révélé qu'en dépit du fait qu'une grande majorité des répondants estimaient que le changement climatique aurait une incidence sur les forêts dans les 50 années à venir et que près de la

TABLEAU 7 : Caractéristiques générales de la capacité d'adaptation dans les sous-régions de l'Ontario[1].

Déterminant	Sous-région		
	nord	centrale	sud
Ressources économiques	• Forte dépendance à l'égard de ressources naturelles sensibles au climat • Économie hors marché importante	• Forte dépendance à l'égard de ressources naturelles sensibles au climat • Accroissement de la diversification	• Fortement diversifiées • Sensibilité au climat limitée
Technologie	• Accès quelque peu limité par les ressources économiques	• Moyens technologiques aisément accessibles • Aspect essentiel de l'économie dans certains endroits • Connaissance limitée de l'utilité de la technologie face à la sensibilité au climat	• Moyens technologiques aisément accessibles • Aspect essentiel de l'économie • Connaissance limitée de l'utilité de la technologie face à la sensibilité au climat
Informations et compétences	• Solides connaissances traditionnelles et locales sur les sensibilités au climat et l'adaptation au changement • Pourcentage plus faible de la main-d'œuvre dotée d'une formation technique	• Proportion importante de la main-d'œuvre dotée d'une formation technique • Bonne compréhension des sensibilités au climat dans les industries primaires	• Proportion importante de la main-d'œuvre dotée d'une formation technique • Connaissance limitée de la sensibilité au climat
Infrastructures	• Limitées • Problèmes de maintenance et d'expertise • Accès terrestre à de nombreuses collectivités limité aux routes saisonnières • Sensibilité problématique du pergélisol	• Bien développées en zones urbaines • Renouvellement préoccupant • Manque d'expertise concernant les impacts du changement climatique sur l'environnement bâti	• Très bien développées • Vieillissement de la plupart des infrastructures • Manque d'expertise concernant les impacts du changement climatique sur l'environnement bâti • Forte dépendance à l'égard d'un réseau électrique potentiellement vulnérable
Institutions	• Accès limité • Forte cohésion sociale	• Bien développées • Les chevauchements des compétences peuvent freiner les décisions	• Très bien développées • Les chevauchements des compétences peuvent freiner les décisions
Equité[2]	• Situation désavantagée des populations autochtones, des collectivités rurales et des pauvres en milieu urbain • Les municipalités jouissent de couvertures d'assurance mutuelles et bénéficient de secours en cas de catastrophe		

[1] Selon le jugement des auteurs principaux du chapitre, dans le but de stimuler des analyses futures de la vulnérabilité.
[2] Se prête mieux à un examen à l'échelle régionale et provinciale.

moitié d'entre eux estimaient que les impacts seraient importants pour les collectivités forestières, presque tous étaient convaincus que ni les responsables des politiques forestières, ni le public ne comprenaient comment le changement climatique toucherait les collectivités forestières (Columbo, 2006). Malgré ces préoccupations, l'importance de mettre en œuvre des mesures susceptibles d'améliorer le niveau de compréhension du changement climatique et la capacité d'adaptation nécessaire pour y faire face est mise en lumière dans le rapport sur les orientations stratégiques du Ministère pour 2005 (ministère des Richesses naturelles, 2005b).

4.3 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Avec sa base économique forte et diversifiée et ses abondantes ressources naturelles, l'Ontario est dans l'ensemble bien placé pour gérer l'adaptation au changement des conditions climatiques. Il existe des moyens d'intégrer rapidement l'adaptation au changement climatique dans le processus de prise de décisions; cette démarche est illustrée par la *Loi sur l'eau saine* et d'autres politiques ou programmes qui portent, entre autres, sur les infrastructures et leur renouvellement, sur les programmes d'intervention en cas de baisse du niveau des eaux et sur les stratégies de développement.

Il ressort de cette évaluation un certain nombre de lacunes sur le plan des connaissances, y compris une compréhension limitée des effets cumulatifs et des implications du changement climatique pour certains secteurs, régions et segments de la population; les plus notables de ces lacunes concernent les sous-régions centrale et nord, les options d'adaptation et la compréhension de la capacité d'adaptation dans toutes les sous-régions. De nombreuses activités et mesures d'adaptation conçues en vue de contrer les impacts du changement climatique sont applicables dans tous les secteurs, systèmes et sous-régions, mais on constate une grande diversité en matière de documentation sur la nature de ces activités ou mesures, sur le fait qu'elles sont en place ou en cours d'élaboration, ou qu'elles devraient être efficaces au niveau local ou à celui des collectivités. La « trousse à outils » des mesures d'adaptation peut être vaste mais, à quelques exceptions près (p. ex., Edwards *et al.*, 1999; Bruce *et al.*, 2006), on n'a qu'une connaissance limitée de la manière dont ces outils peuvent servir dans la plupart des contextes.

De ce fait, la connaissance de la vulnérabilité des systèmes naturel et humain au changement climatique est elle aussi limitée, notamment dans le contexte de stress multiples, comme les activités humaines, la croissance économique et les espèces envahissantes. Généralement, la vulnérabilité ne devient véritablement manifeste que lorsque des conditions comparables à celles projetées pour l'avenir sous l'effet du changement climatique interagissent avec une population sensible; c'est pourquoi le présent chapitre s'est beaucoup inspiré des leçons tirées des récents phénomènes climatiques extrêmes. Dans le cas des canicules, par exemple, l'expérience de la ville de Toronto indique clairement que la vulnérabilité d'une population sensible est fonction de l'efficacité des systèmes d'alerte déjà en place et des déterminants sociaux de la santé qui aggravent ou atténuent les risques.

On peut améliorer la résilience des collectivités, des régions et des secteurs face aux risques et aux possibilités du changement climatique en élaborant et en mettant en œuvre des plans ou des stratégies d'adaptation, comme cela a été recommandé pour les collectivités de Premières nations et les infrastructures de santé (Chiotti *et al.*, 2002; Resource Futures International, 2004). Parmi les éléments qui seront probablement communs à ces plans et stratégies figurent les suivants :

- **La mobilisation des intervenants :** cette étape est essentielle pour définir les priorités de la recherche, évaluer l'efficacité des mesures d'adaptation actuelles aux conditions futures et déterminer quelles interventions et activités sont les plus appropriées.
- **La surveillance et le suivi :** des données sur le climat, la fonction des écosystèmes, les conditions sociales et les répercussions économiques, y compris des données provenant de la surveillance exercée par les collectivités, sont nécessaires au processus de prise de décisions efficaces en matière d'adaptation.
- **L'éducation :** une sensibilisation accrue aux répercussions sociales, économiques et environnementales du changement climatique à l'échelle locale et régionale aidera à faciliter l'élaboration de mesures d'adaptation.
- **La constitution de partenariats :** l'efficacité des mesures d'adaptation exigera une coopération et une coordination entre tous les ordres de gouvernement, le secteur industriel, les collectivités, les universités et collèges, les organisations de bénévoles, les groupes de défense des intérêts du public, et les membres du public.

5 REMERCIEMENTS

En plus de leurs collaborateurs, les auteurs principaux tiennent à remercier particulièrement Dieter Riedel, Tom Bridges et Joan Klaassen (Environnement Canada) pour leur participation active à l'élaboration de ce chapitre et pour leurs précieuses contributions. Ils tiennent également à remercier Graeme Spiers (Université Laurentienne), Rob de Loë (Guelph University), Jean Andrey (Waterloo University), Craig Wakefield (Bureau d'assurance du Canada), Gordon Miller (Commissaire à l'environnement de l'Ontario), Jennifer Penny (Clean Air Partnership), Louise Aubin (Peel Region Public Health) et Brenda Sakauye (Ville de Mississauga) de leurs contributions, relectures et observations informelles. Ils expriment également leur reconnaissance au ministère de l'Environnement de l'Ontario et au ministère de l'Énergie de l'Ontario pour leur contribution financière qui a servi à rétribuer certains contributeurs pour leurs travaux de rédaction.

RÉFÉRENCES

Administration du rétablissement agricole des Prairies. Gare aux sulfates et aux algues bleu-vert dans l'eau du bétail. Agriculture et Agro-alimentaire Canada, 2003, <http://www.agr.gc.ca/pfra/drought/info/sulphate_f.htm>. [consultation : 16 août 2007].

Affaires indiennes et du Nord Canada. Document d'information : Liste prioritaire des collectivités des Premières nations visées par un avis concernant l'eau potable et dont le réseau d'alimentation en eau présente un risqué élevé, Affaires indiennes et du Nord Canada, 2006, <http://www.ainc-inac.gc.ca/prs/j-a2006/02757bk_f.html>. [consultation : 16 août 2007].

Affaires indiennes et du Nord Canada. *Risk assessment workshop*, à Thunder Bay–Sioux Lookout les 10 et 11 juillet 2006 et à Toronto les 13 et 14 juillet 2006, Affaires indiennes et du Nord Canada, 2007, 14 p.

Agriculture et Agro-alimentaire Canada. « Innovation in agriculture: finding the better way », *Canadian Farm Manager*, avril/mai, 2003, pp. 1–2.

Aldridge, D.C., P. Elliott et G.D. Moggridge. « Microencapsulated BioBullets for the control of biofouling zebra mussels », *Environmental Science and Technology*, vol. 40, n° 3, 2006, pp. 975–979.

Altmayer, C.A., B.G. Hutchison, V.L. Torrance-Rynard, J. Hurley, S. Birch et J.D. Eyles. « Geographical disparity in premature mortality in Ontario, 1992–1996 », *International Journal of Health Geographics*, vol. 2, n° 7, 2003, <http://www.ij-healthgeographics.com/content/2/1/7>, [consultation : 24 janvier 2007].

AMEC Earth and Environmental. *Coastal Zone and Climate Change on the Great Lakes*, rapport remis à Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, 2006, 95 p.

American Sportfishing Association. *Sportfishing in America, values of our traditional pastime*, American Sportfishing Association, Alexandria, Virginie, 2001.

Andresen, J., G. Alagarswamy, D. Stead, H. Cheng et B. Sea. « Agriculture », dans *Preparing for a Changing Climate: The Potential Consequences of Climate Variability and Change. Great Lakes*, P. Sousounis et J. Besanz (éd.), United States Global Change Research Program, 2000, pp. 69–76.

Andrey, J. et B. Mills. « Climate change and the Canadian transportation system: vulnerabilities and adaptations », dans *Weather and Road Transportation*, J. Andrey et C.K. Knapper (éd.), University of Waterloo, Waterloo (Ontario), Department of Geography Publication Series, Monograph 55, 2003.

Andrey, J., B. Mills, B. Jones, R. Haas et W. Hamilton. *Adaptation to climate change on the Canadian transportation sector*, rapport remis à Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, 1999.

Archambault, D.J., X. Li, D. Robinson, J.T. O'Donovan et K.K. Klein. *The effects of elevated CO2 and temperature on herbicide efficacy and weed/crop competition*, rapport rédigé pour le Prairie Adaptation Research Collaborative (PARC), Regina (Saskatchewan), 2001, 29 p.

Arctic Climate Impact Assessment. *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, 1024 p., <http://www.acia.uaf.edu/pages/scientific.html>, [consultation : 6 mai 2007].

Assel, R. A., F. H. Quinn et C. E. Sellinger. « Hydroclimatic factors of trhe recent record drop in Laurention Great Lakes water levels », *American Meteorological Society*, août 2004, pp. 1143-1151.

Assemblée Législative de l'Ontario. *Select committee on alternative fuel sources* — final report Assemblée Législative de l'Ontario, 3e Session, 37e Parlement, 2002, 69 p.

Association canadienne de normalisation. *Risk management, guideline for decision-makers*, Association canadienne de normalisation, Mississauga (Ontario), 1997, 66 p.

Auld, H. et D. MacIver. *Cities and communities: the changing climate and increasing vulnerability of infrastructure*, Environnement Canada, Groupe de recherche sur l'adaptation et les impacts, Publication hors-série n° 3, 2005, 26 p.

Auld, H. et D. MacIver. *Changing weather patterns, uncertainty and infrastructure risks: emerging adaptation requirements*, Institut canadien des ingénieurs, Conférence technologique sur le changement climatique, tenue du 10 au 12 mai 2006 à Ottawa (Ontario), 2006.

Auld, H., D. MacIver et J. Klaassen. « Heavy rainfall and waterborne disease outbreaks: the Walkerton example », *Journal of Toxicology and Environmental Health*, partie A, vol. 67, n° 20-22, 2004, pp. 1879-1887.

Auld, H., D. MacIver et J. Klaasen. « Adaptation options fo rinfrastructure under changing climate conditions. Institut canadien des ingénieurs », Conférence technologique sur le changement climatique, tenue du 10 au 12 mai, 2006 à Ottawa (Ontario), 2006.

Banting, D., H. Doshi, J. Li et P. Missios. *Report on the environmental benefits and costs of green roof technology for the City of Toronto*, rapport rédigé pour la ville de Torontoet Ontario Centres of Excellence – Earth and Environmental Technologies (OEC ETACH), Rverson University, Toronto (Ontario), 2005, 63 p.

Bazzaz, F.A. *Plants in Changing Environments*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 1996, 320 p.

Bellamy, S. et D. Boyd. *Water use in the Grand River watershed*, Grand River Conservation Authority, Cambridge (Ontario), 2005, 33 p.

Blackman, J. « Wacky weather won't wash out Winterlude », Capital News Online, 2006, <http://temagami.carleton.ca/imc/cnews/2701.2006/n6.shtml>, [consultation : 15 août 2007].

Blair, D. et J. Babb. *Impacts of climate variability on the winter road season in Manitoba*, rapport rédigé pour le ministère des Transports et des Services gouvernementaux du Manitoba et le Prairie Adaptation Research Collaborative (PARC), Regina (Saskatchewan), 2002.

Boland, G., V. Higgins, A. Hopkin, A. Nasuth et M. Melzer. « Climate change and plant disease in Ontario », dans *A Synopsis of the Known and Potential Diseases and Parasites Associated with Climate Change*, S. Griefenhagen et T. Noland (éd.), Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Forest Research Information Paper n° 154, 2003, pp. 148–178.

Bootsma, A., D. Anderson et S. Gameda. Potential impacts of climate change on agroclimatic indices in southern regions of Ontario and Quebec, *Eastern Cereal and Oilseed Research Centre, Technical Bulletin* 03-284, 2004, 14 p.

Bootsma, A., S. Gameda, D.W. McKenny, P. Schut, H.N. Hayhoe, R. de Jong et E.C. Huffman. *Adaptation of agricultural production to climate change in Atlantic Canada*, rapport remis à Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, 2001, 30 p., < http://res2.agr.ca/ecorc/clim/20010613_e.pdf>. [consultation : 15 août 2007].

Booty, W.D. Lam, G. Bowen, O. Resler et L. Leon. « Modelling changes in stream water quality due to climate change in a southern Ontario watershed », *Journal canadien des ressources hydriques*, vol. 30, n° 3, 2005, pp. 211-226.

Bowman, J., G.L. Holloway, J.R. Malcolm, K.R. Middel et P.J. Wilson. « Northern range boundary dynamics of southern flying squirrels: evidence of an energetic bottleneck », *Revue canadienne de zoologie*, vol. 83, 2005, pp. 1486–1494.

Branfireun, B.A., N.T. Roulet, C.A. Kelly et J.W. Rudd. « In situ sulphate stimulation of mercury methylation in a boreal peatland: toward a link between acid rain and methyl-mercury contamination in remote environments », *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 13, 1999, pp. 743-750.

Breton, M.C., M. Garneau, I. Fortier, F. Guay et J. Louis. « Relationship between climate, pollen concentrations of Ambrosia and medical consultations for allergic rhinitis in Montreal, 1994–2002 », *Science of the Total Environment*, vol. 370, n° 1, 2006, pp. 39–50.

Brklacich, M. et B. Smit. « Implications of changes in climatic averages and variability on food production opportunities in Ontario, Canada », *Climatic Change*, vol. 20, n° 1, 1992, pp. 1–21.

Brklacich, M., C. Bryant, B. Veenhof et A. Beauchesne. « Répercussions du changement climatique mondial sur l'agriculture canadienne : revue et évaluation de la recherche entre 1984 et 1997 », dans *l'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique - Questions sectorielles*, G. Koshida et W. Avis (éd.), Environnement Canada, tome VII, 1997, pp. 237-276.

Brown, A., J. Dart et J. Quesnel, *Climate change and watershed management at the Hemlo Operations*, Sudbury Restoration Workshop, atelier tenu les 22 et 23 février 2006 à Sudbury (Ontario), 2006, p. 36.

Brown, J. et M. Palacios. *The state of urban air in Canada*, Fraser Institute, Vancouver (Colombie-Britannique), Publication hors-série n° 85, 2005, 119 p.

Bruce, J., I. Burton, H. Martin, B. Mills et L. Mortsch. *Vulnerability and adaptation to climate change*, rapport remis à Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, 2000, 144 p.

Bruce, J., M. Egener et D. Noble. *Adapting to climate change: a risk-based guide for Ontario municipalities*, rapport remis à Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, 2006, 39 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/176a_e.pdf>, [consultation : 15 août 2007].

Bruce, J.P., H. Martin, P. Colucci, G. McLean, J. McDougall, D. Shrubsole, F. Whalley, R. Halliday, M. Alden, L. Mortsch et B. Mills. *Climate change impacts on boundary and transboundary water management*, rapport remis à Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, 2003, 307 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/water3_e.pdf>, [consultation : 15 août 15, 2007].

Brulé, J. et A. McCormick. *Canadian Standards Association discussion panel – climate change and municipal infrastructure: final report on the survey to InfraGuide Committee members*, Conseil national de recherches du Canada, Institut de la recherche en construction, IRC-RR-203, 2005, 34 p.

Bryant C.R., B. Smit, M. Brklacich, T.R. Johnston, J. Smithers, Q. Chiotti et B. Singh. « Adaptation in Canadian agriculture to climatic variability and change », *Climatic Change*, vol. 45, n° 1, 2000, pp. 181–201.

Bureau d'assurance du Canada. Insurers estimate August 19 Ontario storm claims will exceed $400 million, Bureau d'assurance du Canada, 2005, <http://www.insurance-canada.ca/consinfohome/IBC-Ontario-storm-509.php>, [consultation : 1er mai 2007].

Burnett, A. W. M. Kirby, H. Mullins et W. Patterson. « Increasing Great Lake-effect snowfall during the twentieth century: a regional response to global warming? », *Journal of Climate*, vol. 16, n° 21, 2003.

Buttle, J., T. Muir et J. Frain. « Economic impacts of climate change on the Canadian Great Lakes hydro-electric power producers: a supply analysis », *Journal canadien des ressources hydriques*, vol. 29, n° 2, 2004, pp. 89–110.

Campbell, M., D. Pengelly et M. Bienefeld. Air pollution burden of illness in Toronto: 2004 summary, Toronto Public Health, Toronto (Ontario), 2004, 19 p.

Candau, J.N. et R.A. Fleming. « Landscape-scale spatial distribution of spruce budworm defoliation in relation to bioclimatic conditions », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 35, n° 9, 2005, pp. 2218–2232.

Candau, J.-N., R.A. Fleming et A. Hopkin. « Spatiotemporal patterns of large-scale defoliation caused by the spruce budworm in Ontario since 1941 », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 28, n° 111998, pp. 1733-1741.

Casselman, J.M. « Effects of temperature, global extremes, and climate change on year-class production of warmwater, coolwater, and coldwater fishes in the Great Lakes basin », dans *Fisheries in a Changing Climate*, N.A. McGinn (éd.), American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 2002, pp. 39–60.

Casselman, J.M. « Effects of climate and climate change on lake trout populations and fisheries », dans *Proceedings of Second North American Lake Trout Symposium* (résumés allongés), présenté du 16 au 19 août 2005 à Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest), 2005.

Casselman, J.M. et K.A. Scott. « Fish-community dynamics of Lake Ontario—long-term trends in the fish populations of eastern Lake Ontario and the Bay of Quinte », dans *State of Lake*

Ontario: Past, Present and Future, M. Munawar (éd.). Ecovision World Monograph Series, Aquatic Ecosystem Health and Management Society, 2003, pp. 349-383.

Casselman, J.M., D.M. Brown, J.A. Lloyle et T.H. Eckert. « Effects of climate and global warming on year-class strength and relative abundance of smallmouth bass in eastern Lake Ontario », dans *Black Bass: Ecology, Conservation and Management*, D. Philipp et M.S. Ridgway (éd.), American Fisheries Society Symposium 31, Bethesda, Maryland, 2002, pp. 73–90.

Centre interservices des feux de forêt du Canada. *Canada report*, Centre interservices des feux de forêt du Canada, Winnipeg (Manitoba), 2005.

Chakraborty, S., A.V. Tiedemann et P.S. Teng. « Climate change: potential impact on plant diseases », *Environmental Pollution*, vol.108, n° 3, 2000, pp. 317–326.

Changnon, S. Temporal behaviour of levels of the Great Lakes and climate variability, *Journal of Great Lakes Research*, vol. 30, n° 1, 2004, pp. 184-200.

Changnon, S.A., S. Leffler et R. Shealy. « Impacts of extremes in Lake Michigan levels along Illinois shoreline », dans *The Potential Effect of Global Climate Change on the United States*, J.B. Smith et D.A. Tirpack (éd.), Hemisphere Publishing Corp., New York, New York, 1989, pp. 3–48.

Charron, D. et P. Sockett. « Climate change: preparing for the health impacts », *Health Policy Research Bulletin*, n° 11, novembre 2005, pp. 1–4.

Charron, D., D. Waltner-Toews, A.R. Maarouf et M. Stalker. 2003. « A synopsis of known and potential diseases and parasites of humans and animals associated with climate change », dans *A Synopsis of Known and Potential Diseases and Parasites Associated With Climate Change*, S. Greifenhagen et T.L. Noland (comp.), Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Forest Research Information Paper N° 154, 2003, 200 p.

Chen, J.M., B. Chen, K. Higuchi, J. Liu, D. Chan, D. Worthy, P. Tans et A. Black. « Boreal ecosystems sequestered more carbon in warmer years », *Geophysical Research Letters*, vol. 33, L10803, 2006, 4 p.

Cheng, S., H. Auld, G. Li, J. Klaassen et Q. Li. « Possible impacts of climate change on freezing rain in south-central Canada using downscaled future climate scenarios », *Natural Hazards and Earth Science Systems*, vol. 7, n° 1, 2007, pp. 71–87.

Cheng, S., M. Campbell, Q. Li, Guilong, Li., H. Auld, N. Day, D. Pengelly, S. Gingrich, J. Klaassen, D. MacIver, N. Comer, Y. Mao, W. Thompson et H. Lin. *Differential and combined impacts of winter and summer weather and air pollution due to global warming on human mortality in south-central Canada*, Santé Canada, Programme de recherche sur les politiques en matière de santé, projet n° 6795-15-2001/4400011, rapport technique, 2005.

Cheng, S., J. Klaassen, N. Comer, H. Auld, D. MacIver et A. Liu. « The impacts of summer heat and air quality on energy and health in Ontario », présentation faite lors de Sustainable Energy Futures for Central Ontario: The Impacts of Extreme Weather, Climate Change and a Changing Regulatory Environment, rencontre tenue le 22 mars 2004 à Toronto (Ontario), 2004, <http://www.pollutionprobe.org/Happening/pdfs/march22sustenergy/auld.pdf>, [consultation : 14 janvier 2007].

Cherry, M.L. « Genetic implications of climate change », dans *The Impacts of Climate Change on Ontario's Forests*, S.J. Colombo et L.J. Buse (éd.), ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Forest Research Information Paper n° 143, 1998, pp. 23-26.

Chiotti, Q. « Adapting to climate change impacts in the Toronto-Niagara region: energy stakeholder needs », présentation faite lors de Sustainable Energy Futures for Central Ontario: The Impacts of Extreme Weather, Climate Change and a Changing Regulatory Environment, rencontre tenue le 22 mars 2004 à Toronto (Ontario), 2004, <http://www.pollutionprobe.org/Happening/pdfs/march22sustenergy/chiotti.pdf >, [consultation : 25 janvier 2007].

Chiotti, Q. et R. Bain. « Atmospheric change in rural areas: a preliminary assessment of the Toronto-Niagara region », dans *Agricultural and Environmental Sustainability in the New Countryside*, H. Millward, K.B. Beesley, B. Ilbery et L. Harrington (éd.), Rural Research Centre, Nova Scotia Agricultural College, Truro (Nouvelle-Écosse) et Saint Mary's University, Halifax (Nouvelle-Écosse), 2000,pp. 15–29.

Chiotti, Q., C.A. Brown et M. Pattenden. « Energy efficiency and energy from renewables: bringing mitigation and adaptation together », dans *Climate Change: Building the Adaptive Capacity* (an international conference on adaptation science, management and policy options), A. Fenech, D. MacIver, H. Auld, R. Bing Rong et Y. Yin (éd.), Environnement Canada, Toronto, 2005, pp. 235-253.

Chiotti, Q., J. Morton, K. Ogilvie, A. Maarouf et M. Kelleher. *Towards an adaptation action plan: climate change and health in the Toronto-Niagara region – summary for policy makers*, *Pollution Probe*, Toronto (Ontario), 2002, 50 p.

Chu, C., N.E. Mandrak et C.K. Minns. « Potential impacts of climate change on the distribution of several common and rare freshwater fishes in Canada », *Diversity and Distributions*, vol. 11, n° 4, 2005, pp. 299–310.

Coakley, S. « Plant disease management », dans *Impacts of Climate Change on Horticulture Symposium*, tenu en conjonction avec la conference centenaire de la American Society for Horticultural Science, le 4 octobre 2003 à Providence, Rhode Island, 2004, pp. 17–18.

Cohen, S. et K. Miller. « North America », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 737-800.

Colombo, S.J. « Plant physiological responses to a changing environment », dans *The Impacts of Climate Change on Ontario's Forest*, S.J. Colombo et L.J. Buse (éd.), ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Forest Research Information Paper n° 143, 1998, pp. 25-28.

Colombo, S.J. *How OMNR staff perceive risks related to climate change and forests*, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Direction de la recherche appliquée et du développement, Research Information Note n° 2, Thunder Bay (Ontario), 2006, 8 p.

Comité consultatif fédéral-provincial-territorial sur la santé de la population. *Rapport statistique sur la santé de la population canadienne*, rapport rédigé pour la Rencontre des ministres de la Santé, tenue les 16 et 17 septembre 1999 à Charlottetown (Île-du-Prince-Édouard), Santé Canada, Statistique Canada et Institut canadien d'information sur la santé, 1999, 348 p.

Commissaire à l'environnement et au développement durable. « L'eau potable dans les collectivités des Premières nations », chapitre 5 dans *Rapport du Commissaire à l'environnement et au développement durable à la Chambre des Communes*, Bureau du Vérificateur général du Canada, 2005, 34 p.

Commission de l'énergie de l'Ontario. *Ontario Energy Board 2003-04 Annual Report*, Commission de l'énergie de l'Ontario, Toronto (Ontario), 2004, 33 p.

Commission mixte internationale. Accord de 1978 relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs : Accord, annexes et termes de référence, conclu entre les États-Unis et le Canada et signé à Ottawa, le 22 novembre 1978 et Accord supplémentaire relatif à la reduction de la charge en phosphore signé le 16 octobre 1983, tel qu'amendé par le Protocole du 18 novembre 1987, Environnement Canada, 1989, <http://www.on.ec.gc.ca/greatlakes/default.asp?lang=Fr&n=FD65DFE5-1>, [consultation : 2 mars 2007].

Commission mixte internationale. *Rapport d'étape 2006 concernant l'Accord Canada-États-Unis sur la qualité de l'air*, Environnement Canada et United States Environmental Protection Agency, 2006, 71 p.

Conseil canadien des ministres de l'Environnement. *Le climat, la nature, les gens: indicateurs d'évolution du climat au Canada*, Conseil canadien des ministres de l'Environnement, Winnipeg (Manitoba), 2003, 45 p.

Conseil ontarien des services de santé pour les femmes. Fact sheet: Ontario's women's health status, Conseil ontarien des services de santé pour les femmes, Toronto, Ontario, 2002, <http://www.womenshealthcouncil.on.ca/userfiles/page_attachments/fact%20sheet%20health%20status.pdf>, [consultation : 17 janvier 2007].

Crabbé, P. et M. Robin. « Institutional adaptation of water resource infrastructures to climate change in eastern Ontario », *Climatic Change*, vol. 78, n° 1, 2006, pp. 103-133.

Craig, L. *Atmospheric change in the Toronto-Niagara region: an assessment of public health department activities and needs*, Environnement Canada, Rapport 99-2, 1999.

Croley, T.E. *Great Lakes climate change hydrologic impact assessment*, International Joint Commission Lake Ontario–St. Lawrence River Regulation Study, National Oceanic and Atmospheric Administration, Technical Memorandum GLERL-126, Great Lakes Environmental Research Laboratory, Ann Arbor, Michigan, 2003, 85 p.

Cummine, R.P., B. Murphy et P.R. Ford. *The 49th Parallel severe rainstorm — an example of elevated thunderstorms and their impact. June 8 to 11, 2002. American Meteorological Society*, 22e conférence sur les tempêtes sévères locales, tenue du 3 au 8 octobre 2004 à Hyannis, Massachusetts, 2004.

Cunderlink, J. et S. Simonvic. « Hydrological extremes in a southwestern Ontario river basin under future climate conditions », *Hydrological Sciences Journal*, vol. 50, n° 4, 2005.

Dale, V.H., L.A. Joyce, S. McNulty, R.P. Neilson, M.P. Ayres, M.D. Flannigan, P.J. Hanson, L.C. Irland, A.E. Lugo, C.J. Peterson, D. Simberloff, F.J. Swanson, B.J. Stocks et B.M. Wotton. « Climate change and forest disturbances », *BioScience*, vol. 51, n° 9, 2001, pp. 723–734.

D'Andrea, M. « Climate change — impacts on infrastructure and water management », dans *Integration of Climate Change Impacts and Adaptation into Municipal Policy an Programs: a Focus on Water Management*, présentation faite à l'atelier du Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN) Ontario, tenu le 3 novembre 2005 à Toronto (Ontario), 2005.

Davis, M.B. « Lags in vegetation response to greenhouse warming », *Climate Change*, vol. 15, n° 1-2, 1989, pp. 75-82.

de Loe, R.C. et A. Berg. *Mainstreaming climate change in drinking water* source Protection in Ontario, rapport rédigé pour Pollution Probe et l'Association canadienne des ressources hydriques (succursale d'Ontario), Ottawa (Ontario), 2006, 51 p.

de Loe, R. et R. Kreutzwiser. « Climate variability, climate change and water resource management in the Great Lakes », *Climatic Change*, vol. 45, n° 1, 2000, pp. 163-179.

de Loe, R., R. Kreutzwiser et L. Moraru. « Adaptation options for the near term: climate change and the Canadian water sector », *Global Environmental Change*, vol. 11, n° 3, 2001, pp. 231-245.

Déry, S.J., M. Stieglitz, E. McKenna et E. Wood. « Characteristics and trends of river discharge inton Hudson, James, and Ungava bays, 1964-2000 », *Journal of Climate*, vol. 18, n° 14, 2005, pp. 2540-2556.

Devito, K.J., A.R. Hill et P.J. Dillon. « Episodic sulphate export from wetlands in acidified headwater catchments: prediction at the landscape scale », *Biogeochemistry*, vol. 44, n° 2, 1999, pp. 187-203.

Doiney, T.J. et S.C. Sheridan. « The relationship between extreme heat and ambulance response calls for the City of Toronto, Ontario, Canada », *Environmental Research*, vol. 101, n° 1, 2006, pp. 94-103.

Drebot, M.A. et H. Artsob « Hantavirus pulmonary syndrome in Canada, 1989–1999 », *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 26, n° 8, 2000, pp. 65–68.

Drohan P., S. Stout et G.W. Petersen. « Sugar maple (Acer saccharum Marsh.) decline during 1979–1989 in northern Pennsylvania », *Forest Ecology and Management*, vol. 170, 2002, pp. 1–17.

Duncan, K., T. Guidotti, W. Cheng, K. Naidoo, G. Gibson, L. Kalkstein, S. Sheridan, D. Waltner-Toews, S. MacEachern et J. Last. « Health sector », dans *L'Étude pancanadienne: impacts et adaptation au climat - questions sectorielles*, G. Koshida et W. Avis (éd.), Environnement Canada, vol. VII, 1997, pp. 501-590.

Easterling, W.E., III, B. Hurd et J. Smith. *Coping with global climate change: the role of adaptation in the United States*, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginie, 2004, 52 p.

Edwards, P., A. Maarouf et S. Kalhok. *Human health effects of atmospheric change in the Toronto-Niagara region*, Canada, manuscript inédit, Environnement Canada, 1999.

Egan, M.J. « Killer virus here: London medical experts have confirmed that an Owen Sound woman died from the Hantavirus — its first appearance in Ontario », London Free Press, juillet 26, 1997.

Environnement Canada. *The state of Canada's environment*, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 1991.

Environnement Canada. *Menaces pour la disponibilité de l'eau au Canada*, Environnement Canada, Institut national de recherche sur les eaux., Série de rapports d'évaluation scientifique.

Rapport no 3, et Direction générale des sciences atmosphériques et climatiques, Série de documents d'évaluation scientifique n° 1, 2004, 128 p.

Environnement Canada. *Les dix événements météorologiques canadiens les plus marquants de 2005*, Environnement Canada, 2005a, <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/media/top10/2005_f.html>, [consultation : janvier 2007].

Environnement Canada. Événements historiques liés aux inondations, Environnement Canada, site Internet des Dangers atmosphériques — Ontario, 2005b, <http://ontario.hazards.ca/historical/Flood_Ontario-f.html>, [consultation : 16 juillet 2007].

Environnement Canada. Température et précipitations dans une perspective historique : annuelle 2006, Environnement Canada, Bulletin des tendances et des variations climatiques, 2006a, <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/ccrm/bulletin/annual06/national_f.cfm>, [consultation : 15 mai 2007].

Environnement Canada. Plans d'assainissements (PA) canadiens, Environnement Canada, 2006b, <http://www.on.ec.gc.ca/water/raps/intro_f.html>, [consultation : 16 juillet 2007].

Environnement Canada, Statistique Canada et Santé Canada. *Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement*, Gouvernement du Canada, 2005, 36 p.

Flannigan, M.D., K.A. Logan, B.D. Amiro, W.R. Skinner et B.J. Stocks. « Future area burned in Canada », *Climatic Change*, vol. 72, n° 1-2, 2005, pp. 1-16.

Flemming, R.A. et J-N. Candau. « Influences of climatic change on some ecological processes of an insect outbreak system in Canada's boreal forests and the implications for biodiversity », *Environmental Monitoring Assessment*, vol. 49, n° 2-3, 1998, pp. 253-249.

Fleming, R.A., R.L. Fleming et I.A. Fleming. « Life cycles », dans *The Earth System: Biological and Ecological Dimensions of Global Environmental Change*, H.A. Mooney et J.G. Canadell (éd.), John Wiley and Sons Ltd., Chichester, Royaume-Uni, Encyclopedia of Global Environmental Change, 2002, pp. 385-389.

Fox, C.D. Final report on the comprehensive approach to energy conservation for the Aboriginal community in Ontario, Ontario Power Authority, Toronto (Ontario), 2006, <http://www.conservationbureau.on.ca/Storage/14/1906_Final_Report_on_the_Comprehensive_Approach_to_Energy_Conservation_for_the_Aboriginal_Community_in_Ontario.pdf >, [consultation : 21 janvier 2007].

Gagnon, A.S. et W.A. Gough. « Hydro-climatic trends in the Hudson Bay region, Canada », *Journal canadien des ressources hydriques*, vol. 27, n° 3, 2005, pp. 245-262.

Gaston, A.J., H.G. Gilchrist et J.M. Hipfner. « Climate change, ice conditions and reproduction in an Arctic nesting marine bird: Brunnichs guillemot (Uria lomvia L.) », *Journal of Animal Ecology*, vol. 74, n° 5, 2005, pp. 832-841.

Gaston, A.J., K. Woo et J.M. Hipfner. « Trends in forage fish populations in northern Hudson Bay since 1981, as determined from the diet of nestling thick-billed murres Uria lomvia », *Arctic*, vol. 56, n° 3, 2003, pp. 227-233.

Gibbons, J. et J. Fracassi. *Increasing productivity and moving towards a renewable future: a new electricity strategy for Ontario*, Ontario Clean Air Alliance, Toronto (Ontario), 2005, 61 p.

Glass, G.E., J.E. Cheek, J.A. Patz, T.M. Shields, T.J. Doyle, D.A. Thoroughman, D.K. Hunt, R.E. Enscore, K.L. Gage, C. Irland, C.J. Peters et R. Bryan. « Using remotely sensed data to identify areas at risk for hantavirus pulmonary syndrome », *Emerging Infectious Diseases*, vol. 6, n° 3, 2000, pp. 238-247.

Gloser, J. « Impacts of elevated CO2 concentration on interactions between seedlings of Norway spruce (Picea abies) and perennial grass Calamagrostis epigejos », dans *Carbon Dioxide, Populations, and Communities*, C. Körner et F.A. Bazzaz (éd.), Academic Press, San Diego, Californie, 1996, pp. 319-331.

Gough, W.A. et A. Leung. « Nature and fate of Hudson Bay permafrost », *Regional Environmental Change*, vol. 2, n° 4, 2002, pp. 177-184.

Gough, W.A. et Y. Rozanov. « Impact of urbanization on the climate of Toronto, Ontario, Canada, Cool Toronto – Urban Heat Island Summit », rencontre tenue du 1 au 3 mai 2002 à Toronto (Ontario), 2002.

Gough, W.A., A.R. Cornwell et L.J.S. Tsuji. « Trends in seasonal ice duration in southwestern Hudson Bay », *Arctic*, vol. 57, n° 3, 2004, pp. 299-305.

Grace, S.L. « Aboriginal women », dans *Ontario Women's Health Status Report*, D.E. Stewart, A.M. Cheung, L.E. Ferris, J. Hyman, M.M. Cohen et J.I. Williams (éd.), Ontario Women's Health Council, Toronto (Ontario), 2002, pp. 359-373.

Greater Toronto Airports Authority. 2006, <http://www.gtaa.com/documents/news/pearson_profile.pdf>, [consultation : février 2006].

Greifenhagen, S. « The impact of climate change on fungi in the forest ecosystem », dans *The Impacts of Climate Change on Ontario's Forests*, S.J. Colombo et L.J. Buse (éd.), ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Forest Research Information Paper n°. 143, 1998, pp. 18-20.

Grime, J.P. « Vegetation functional classification systems as approaches to predicting and quantifying vegetation change », dans *Vegetation Dynamics and Global Change*, A.M. Solomon et H.H. Shugart (éd.), Chapman-Hall, New York, New York, 1993, pp. 293-305.

Groeneveld, J. « Reservoir development considering probable maximum precipitation (PMP) », présenté à Hydropower and Climate Change, tenu les 2 et 3 mars 2006, à Winnipeg (Manitoba), 2006.

Groupe de travail États-Unis-Canada sur la panne de courant. *Rapport final sur la panne du 14 août 2003 dans le nord-est des États-Unis et au Canada : causes et recommandations*, Gouvernement du Canada et Gouvernement des États-Unis, 2004, 236 p.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007, 996 p.

Gutierrez, A. « Insect pests and population dynamics », dans *Impacts of Climate Change on Horticulture Symposium*, tenu en conjunction avec la conférence centenaire de la American Society for Horticultural Science, le 4 octobre 2003 à Providence, Rhode Island, 2004.

Haas, R., N. Li et S. Tighe. *Roughness trends at Canadian Strategic Highway Research Program — long term pavement performance (LTPP) sites*, Association des routes et transports du Canada, Ottawa (Ontario), Rapport final du projet, 1999.

Haque, F., A. Rocha, B.A. Horbul, P. Desroches et C. Ortell. « Prevalence of childhood obesity in northeastern Ontario: a cross-sectional study », *Revue canadienne de la pratique et de la recherche en diététique*, vol. 67, n° 3, 2006, pp. 143-147.

Harwood, J., R. Heifner, K. Coble, J. Perry et A. Somwaru. *Managing risk in farming: concepts, research and analysis*, United States Department of Agriculture, Economic Research Service, Agricultural Economics Report 774, 1999, 125 p.

Hengeveld, H. et B. Whitewood. *Understanding climate change – 2005*, Environnement Canada, Service météorologique du Canada, 2005, 57 p.

Hjelle, B. et G.E. Glass. « Outbreak of hantavirus infection in the Four Corners region of the United States in the wake of the 1997–1998 El Nino–Southern Oscillation », *The Journal of Infectious Diseases*, vol. 181, 2000, pp. 1569–1573.

Ho, E. et W.A. Gough. « Freeze thaw cycles in Toronto, Canada in a changing climate », *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 83, n° 1–4, 2006, pp. 203–210.

Hogg, E.H. et P.Y. Bernier. « Climate change impacts on drought-prone forests in western Canada », *The Forestry Chronicles*, vol. 81, n° 5, 2005, pp. 675-682.

Holloway, L.E. et B.W. Ilbery. « Farmers' attitude towards environmental change, particularly global warming, and the adjustment of crop mix and farm management », *Applied Geography*, vol. 16, n° 2, 1996, pp. 159–171.

Hussell, D.J.T. Climate change, spring temperatures, and timing of breeding of tree swallows (Tachycineta bicolour) in southern Ontario, *The Auk*, vol. 120, n° 3, 2003, pp. 607-618.

ICF Consulting. *Factor analysis of Ontario electricity use – 1990-2003*, Ontario Power Authority, Chief Conservation Officer, 2005, 33 p.

ICF Consulting. *The electricity supply/demand gap and the role of efficiency and renewables in Ontario*, Pollution Probe, Toronto (Ontario), 2006, 15 p.

Independent Electricity System Operator. *10-year outlook highlights: an assessment of the adequacy of generation and transmission facilities to meet future electricity needs in Ontario from January 2006 to December 2015*, Independent Electricity System Operator, Toronto (Ontario), 2005, 19 p.

Independent Electricity System Operator. *Ontario's Independent Electricity System Operator*, Independent Electricity System Operator, Toronto (Ontario), 2006, 21 p.

Inkley, D.B., M.G. Anderson, A.R. Blaustein, V.R. Burkett, B. Felzer, B. Griffith, J. Price et T.L. Root. Global climate change and wildlife in North America, *The Wildlife Society*, Bethesda, Maryland, Revue technique 04-2, 2004, 26 p.

Ivey, J. *Potential effects of climate change-induced low water levels on rural communities in the upper Credit River watershed*, University of Guelph, Department of Geography, Rural Water Management Group, 2001 30 p.

Ivey, J.L., J. Smithers, R. de Loë et R. Kreutzwiser. « Community capacity for adaptation to climate-induced water shortages: linking institutional complexity and local actors », *Environmental Management*, vol. 33, n° 1, 2004, pp.36-47.

Jarvis, P. et S. Linder. « Botany — Constraints to growth of boreal forests », *Nature*, vol. 405, n° 6789, 2000, pp. 904-905.

Jones, B. « Road Maintenance Costs in Canada in Winter », dans *Weather and Transportation in Canada*, J. Andrey et C. Knapper (éd.), University of Waterloo, Waterloo (Ontario), Department of Geography Publication Series, 2003, pp. 121–142.

Jones, B., D. Scott et H. Abi Khaled. « Implications of climate change for outdoor event planning: a case study of three special events in Canada's Capital Region », *International Journal of Event Management*, vol. 10, n° 1, 2006, pp. 63-76.

Jones, B. D. Scott et S. Gossling. « Lakes and streams », dans *Tourism and Global Environmental Change*, S. Gossling et M. Hall (éd.), Routledge, Londres, Royaume-Uni, 2005, pp. 76-94.

Judek, S., B. Jessiman, D. Stieb et R. Vet. *Estimation de la surmortalité causée par la pollution atmosphérique au Canada*, Santé Canada et Environnement Canada, 2004, 10 p.

Kerry, M., G. Kelk, D. Etkin, J. Burton et S. Kalhok. « Glazed over: Canada copes with the ice storm of 1998 », *Environment*, vol. 41, n° 1, 1999, pp. 6–11, 28–33.

Kharin, V.V. et F.W. Zwiers. « Estimating extremes in transient climate change simulations », *Journal of Climate*, vol. 18, n° 8, 2005, pp. 1156-1173.

Kite Sipe Ltd. *Impacts and adaptation of drainage systems, design methods and policies*, rapport rédigé pour Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, 2001, 116 p., < http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/43_e.pdf>, [consultation : 16 août 2007].

King, J., B. Shuter et A. Zimmerman. « The response of the thermal stratification of South Bay (Lake Huron) to climatic variability », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 54, n° 8, 1997, pp. 1673-1882.

King, J., B. Shuter et A. Zimmerman. « Signals of climate trends and extreme events in the thermal stratification of multibasin Lake Opeongo », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 56, n° 5, 1999, pp. 847-852.

Klaassen, J. *An analysis of heating degree days at selected Ontario locations*, rapport rédigé pour Enbridge Consumers Gas et Environnement Canada, Service météorologique du Canada, 2003, 94 p.

Klaassen, J. « Community vulnerability ad extreme rainfall in Ontario: lessons learned from recent years and implications under climate change », dans *Integration of Climate Change Impacts and Adaptation into Municipal Policy an Programs: a Focus on Water Management*, présentation faite à l'atelier du Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN) Ontario, tenu le 3 novembre 2005 à Toronto (Ontario), 2005.

Klaassen, J. et D. MacIver. « Meeting taxpayers expectations: knowledge and technology — creating a climate for change », présentation faite au 13e symposium annuel A.D. Latornell sur la conservation, tenu du 15 au 17 novembre 2006 à Alliston (Ontario), 2006.

Klaassen, J. et M. Seifert. *Extreme rainfall in Ontario: the Summer 2004 storms study*, Environnement Canada, 2006, 192 p.

Klaassen, J., S. Cheng, H. Auld, Q. Li, E. Ros, M. Geast, G. Li, et R. Lee. *Évaluation des risques de forte tempête de verglas pour le centre-sud du Canada*, rapport rédigé pour le Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile, Ottawa (Ontario), 2003, 80 p.

Kling, G. W., K. Hayhoe, L.B. Johnson, J.J. Magnuson, S. Polasky, S.K. Robinson, B.J. Shuter, M.M. Wander, D.J. Wuebbles, D.R. Zak, R.L. Lindroth, S.C. Moser et M.L. Wilson. *Confronting climate change in the Great Lakes region: impacts on our communities and ecosystems*, Union of Concerned Scientists, Cambridge, Massachusetts, et Ecological Society of America, Washington, D.C., 2003, 93 p.

Kreutzwiser, R., L. Moraru, R de Loe, B. Mills et K. Schaefer. « Drought sensitivity of municipal water supply systems in Ontario », *The Great Lakes Geographer*, vol. 9, n° 2, 2003, pp. 59-70.

Kunkel, K., N.E. Westcott et A.R. Kristovish. « Assessment of potential effects of climate change on heavy lake-effect snowstorms near Lake Erie », *Journal of Great Lakes Research*, vol. 28, n° 4, 2002, pp. 521-536.

Lawn, J. et D. Harvey. *La nutrition et la sécurité alimentaire à Fort Severn en Ontario: Enquête de référence pour le projet-pilote lié au programme Aliments-poste*, ministre des Affaires indiennes et du Nord Canada, Ottawa, 2004, 96 p.

Last, J.M. et Q. Chiotti. « Climate change and health », ISUMA: *Revue canadienne de recherche sur les politiques*, vol. 2, n° 4, 2001, pp. 62-69.

Lecomte, E.L., A.W. Pang et J.W. Russell. *Ice storm '98*, Institute for Catastrophic Loss Reduction, Toronto (Ontario), ICLR Research Paper 1, 1998, 37 p.

Lehman, J. T. « Mixing patterns and plankton biomass of the St. Lawrence Great Lakes under climate change scenarios », *Journal of Great Lakes Research*, vol. 28, n° 4, 2002, pp. 583-596.

Lemieux, C.J., Scott, D.J., Gray, P.A. and Davis, R.G. (2007): *Climate change and Ontario's provincial parks: towards an adaptation strategy*; Ontario Ministry of Natural Resources. Rapport de recherche sur la changement climatique CCRR-06, 81 p.

Lemmen, D.S. et F.J. Warren. *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne*, Gouvernement du Canada, 2004, 190 p.

Ligeti, E., I. Wieditz, J. Penney, I. Burton, M. Campbell, P. Cranley, M. Herzog et C. Morgan. *A scan of climate change impacts in Toronto*; Clean Air Partnership, Toronto (Ontario), 2006, 50 p.

Lindberg, J. et G. Albercook. « Focus: climate change and Great Lakes shipping/boating », dans *Preparing for a Changing Climate: The Potential Consequences of Climate Variability and Change*, P. Sousounis et J. Besanz (éd.), United States Global Change Research Program, 2000, pp. 39-42.

Lipa, J.L. « Do climate changes increase the threat to crops by pathogens, weeds and pests? », *Geographia Polonica*, vol. 4, 1999, pp. 222-224.

Liu, K.B. « Holocene paleoecology of the boreal forest and Great Lakes-St. Lawrence forest in northern Ontario », *Ecological Monographs*, vol. 60, n° 2, 1990, pp. 179-212.

Loehle, C. « Forest ecotone response to climate change: sensitivity to temperature response functional forms, *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 30, n° 10, 2000, pp. 1632-1645.

Lofgren, B.M., F.H. Quinn, A.H. Clites, R.A. Assel, A.J. Eberhardt et C.L. Luukkonen. « Evaluation of potential impacts on Great Lakes water resources based on climate scenarios of two GCMs », *Journal of Great Lakes Research*, vol. 28, n° 4,2002, pp. 537-554.

Logan, J.A. et J.A. Powell. « Ghost forests, global warming, and the mountain pine beetle (Coleoptera: Scolytidae) », *American Entomology*, vol. 47, n° 3, 2001, pp. 160-172.

Logan, J.A., J. Régnière et J.A. Powell, J.A. « Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics », *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 1, 2003, pp. 130-137.

MacIsaac, H. J., J.V.M. Borbely, J.R. Muirhead et P.A. Graniero. « Backcasting and forecasting biological invasions of inland lakes », *Ecological Applications*, vol. 14, n° 3, 2004, pp. 773-783.

Mackey, B.G. et R.A. Sims. « A climatic warming analysis of selected boreal tree species, and potential responses to global climate change », *World Resource Review*, vol. 5, 1993, pp. 469-487.

Malcolm, J.R., A. Markham, R. Neilson et M. Garaci. « Estimated migration rates under scenarios of global climate change », *Journal of Biogeography*, vol. 29, n° 7, 2002, pp. 835-849.

Martens, W.J.M. (1998): « Health impacts of climate change and ozone depletion: an ecoepidemiologic modeling approach », *Environmental Health Perspectives*, vol. 106, n° S1, 1998, pp. 241-251.

McAlpine, R.S. « The impact of climate change on forest fires and forest fire management in Ontario », dans *The Impacts of Climate Change on Ontario's Forests*, S.J. Colombo et L.J. Buse (éd.), ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Forest Research Information Paper N°. 143, 1998, pp. 21-24.

McCormack, M.I. et G. L. Fahnenstiel. « Recent climate trends in nearshore water temperatures in the St. Lawrence Great Lakes », *Limnology and Oceanography*, vol. 44, n° 3, 1999, pp. 530-540.

McCullough Associates et Diane Mackie and Associates. *Ontario marina impact survey*, rapport final rédigé pour l'International Lake Ontario-St. Lawrence River Study, Ottawa (Ontario), 2002, 62 p.

McDonald, G.I., N.E. Martin et A.E. Harvey. *Armillaria in the Northern Rockies: pathogenicity and host susceptibility on pristine and disturbed sites*, United States Department of Agriculture Forest Service, Intermountain Research Station, Research Note INT-371, 1987, 5 p.

McDonald, M., L. Arragutainaq and Z. Novalinga. *Voice from the bay: traditional ecological knowledge of Inuit and Cree in the Hudson Bay bioregion*, Canadian Artic Resources Committee, Ottawa (Ontario) et Environmental Committee of Municipality of Sanikiluaq, (Territoires du Nord-Ouest), 1997, 98 p.

McIsaac, E. « Immigrants in Canadian cities: Census 2001 — what do the data tell us? », *Policy Options*, May, 2003, pp. 58-63.

McMillan, L. et P. Monroe. *Hydro One update*, présentation faite à la Georgian Bay Association, le 21 octobre 2006 au centre de conférence Delawana, 2006.

Mekis É. et W. D. Hogg. « Rehabilitation and analysis of Canadian daily precipitation time series », *Atmosphere-Ocean*, vol. 37, n° 1, 1999, pp. 53-85.

Mercier, G. « Energy Sector », dans *Responding to Global Climate Change: National Sectoral Issues – Volume VII of the Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation* Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation, G. Koshida et W. Avis (éd.), Environnement Canada, Downsview, vol. VII, 1997, pp. 383-403.

Millerd, F. « The economic impact of climate change on Canadian commercial navigation on the Great Lakes », *Journal canadien des ressources hydriques*, vol. 30, n° 4, 2005, pp. 269-280.

Mills, B. et J. Andrey. « Climate change and transportation: potential interactions and impacts », dans *The Potential Impacts of Climate Change on Transportation*, sommaire et compte rendu d'un atelier tenu les 1 et 2 octobre 2002 à Washington, D.C., 2002, pp. 77-88.

Mills, B., J. Suggett et L. Wenger. *Hogtown turned snowtown: a review of the 1999 Toronto snow emergency*, Environnement Canada, Toronto-Niagara Region Study Report and Working Paper Series, Report 2001-01, 2001.

Mining Environment Working Group. *Permafrost considerations for effective mine site development in the Yukon Territory*, EBA Engineering Consultants Ltd, Whitehorse (Yukon), 2004, 26 p.

Mining Watch Canada. *The boreal below: mining issues and activities in Canada's boreal forest region*, rapport rédigé par Mining Watch Canada, décembre 2001, 184 p.

Ministère de l'Énergie de l'Ontario. *Report on the August 14, 2003 outage*, ministere de l'Énergie de l'Ontario, Toronto (Ontario), 2004, <http://www.energy.gov.on.ca/index.cfm?fuseaction=electricity.reports_outage>, [consultation : 11 juillet 2007].

Ministère de l'Environnement de l'Ontario. *Municipal groundwater studies, summary of study requirements 2001-2002*, ministère de l'Environnement de l'Ontario, Direction de la politique de l'aménagement du territoire, 2001, 7 p.

Ministère de l'Environnement de l'Ontario. *Smog alert response: a municipal guide to action*, Ministère de l'Environnement de l'Ontario, 2005, 97 p.

Ministère de l'Environnement de l'Ontario. *Air Quality in Ontario : 2005 Report*, ministère de l'Environnement de l'Ontario, 2006a, 61 p.

Ministère de l'Environnement de l'Ontario. *Protecting the groundwater resource: mapping a hidden treasure*, ministère de l'Environnement de l'Ontario 2006b, <http://www.ene.gov.on.ca/water.htm#groundwater>, [consultation : 27 mars 2006].

Ministère des Finances de l'Ontario. *Toward 2025: assessing Ontario's long term outlook*, ministère des Finances de l'Ontario, 2005, 128 p.

Ministère des Finances de l'Ontario. *Ontario population projections update 2005–2031: Ontario and its 49 census divisions*, ministère des Finances de l'Ontario, 2006, 98 p.

Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. *Today's forests — promoting sustainability*, Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 2002, <http://ontariosforests.mnr.gov.on.ca/spectrasites/viewer~showArticle.cfm?objectid=551DC374-4876-4590-A4F564FD9E79093B&method=DISPLAYFULLNOBARNOTITLEWITHRELATED&id=551DC374-4876-4590-A4F564FD9E79093B>, [consultation : 11 juillet 2007].

Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. *Forest fire management strategy for Ontario*, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 2004, 30 p.

Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. *The economics of recreational fishing in Ontario*, Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 2005a, <http://www.mnr.gov.on.ca/MNR/fishing/econo.html>, [consultation : 26 octobre 2005].

Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. *Our sustainable future*, Ministry of Natural Resources, strategic directions, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 2005b, 22 p.

Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. *Waterpower resources in Ontario*, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Centre provincial des services de géomatique, 2006a.

Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. *Wind power in Ontario*, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Centre provincial des services de géomatique, 2006b.

Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. *Low Water Vulnerability Maps*, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 2006c, <http://www.mnr.gov.on.ca/MNR/water/N1020F_p774.html>, [consultation : 16 août 2007].

Ministère du Développement du Nord et des Mines de l'Ontario. *Northern Ontario highways strategy*, Ministère du Développement du Nord et des Mines de l'Ontario, 2005, <http://www.mndm.gov.on.ca/mndm/nordev/PDFs/NOHSStrategyEnglish.pdf>, [consultation : 11 juillet 2007].

Ministère du Développement du Nord et des Mines de l'Ontario. *Northern transportation program*, Ontario Ministry of Northern Development and Mines, 2006a, <http://www.mndm.gov.on.ca/mndm/nordev/nortra_e.asp>, [consultation : 11 juillet 2007].

Ministère du Développement du Nord et des Mines de l'Ontario. *Northern infrastructure and social factors*, Ontario Ministry of Northern Development and Mines, Regional Economic and Development Branch, Infrastructure Profile, 2006b, <http://www.mndm.gov.on.ca/mndm/nordev/redb/sector_profiles/infrastructure_e.pdf >, [consultation : 11 juillet 2007].

Ministère du Renouvellement de l'infrastructure publique de l'Ontario. *Watertight: the case for change in Ontario's water and wastewater sector*, Ministère du Renouvellement de l'infrastructure publique de l'Ontario, 2005, 91 p.

Ministère du Renouvellement de l'infrastructure publique de l'Ontario. *Places to Grow — Better Choices. Brighter Future: Growth Plan for the Greater Golden Horseshoe*, Ministère du Renouvellement de l'infrastructure publique de l'Ontario, 2006, 48 p.

Ministère du Tourisme de l'Ontario. *Tourism Performance*, December 2006, Ministère du Tourisme de l'Ontario, 2006, <http://www.festivalsandeventsontario.ca/UserFiles/File/Tourism%20Performance%20Update%20December%2020061.pdf>, [consultation : 16 juillet 2007].

Ministère des Transports de l'Ontario. Northern Ontario highways strategy, August 2005, ministere des Transports de l'Ontario <http://www.mto.gov.on.ca/english/pubs/nohs.htm>, [consultation : 30 août 2007].

Minns, C. et J. Moore. « Predicting the impact of climate change on the spatial pattern of freshwater fish yield capability in Eastern Canada lakes », *Climatic Change*, vol. 22, n° 4, 1992, pp. 327-346.

Mirza, M. *Climate change and the Canadian energy sector*, rapport sur la vulnérabilité et l'adaptation, Environnement Canada, 2004, 52 p.

Mortsch, L. « Assessing the impacts of climate change on the Great Lakes shoreline wetlands », Climatic Change, vol. 40, n° 2, 1998, pp. 391-416.

Mortsch, L., M. Alden et J. Scheraga. *Climate change and water quality in the Great Lakes region — risks, opportunities and responses*, rapport rédigé par le Great Lakes Quality Board de la Commission mixte internationale, 2003, 135 p.

Mortsch, L., H. Hengeveld, M. Lister, B. Lofgren, F. Quinn, M. Slivitzky et L. Wenger. « Climate change impacts to the hydrology of the Great Lakes-St. Lawrence system », *Journal canadien des ressources hydriques*, vol. 25, n° 2, 2000, pp. 153-179.

Mortsch, L., J. Ingram, A. Hebb et S. Doka. *Great Lakes coastal wetland communities: vulnerabilities to climate change and response to adaptation strategies*, rapport remis à Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, 2006, 251 p., <http://www.fes.uwaterloo.ca/research/aird/wetlands/index_files/page0012.htm>, [consultation : 16 août 2007].

Moulton, R. et D. Cuthbert. « Cumulative impacts/risk assessment of water removal or loss from the Great Lakes-St. Lawrence River system », *Journal canadien des ressources hydriques*, vol. 25, n° 2, 2000, pp. 181-208.

Munoz-Marquez Trujillo, R.A. *Future climate change impacts on the boreal forest in northwestern Ontario: implications for the forestry sector and the local community*, these de doctorat, University of Waterloo, Waterloo (Ontario), 2005, 252 p.

Neegan Burnside Ltd. *Sharing the story: Aboriginal and northern energy experiences — energy efficiency and renewable energy*, Affaires indiennes et du Nord canadien, 2004, 87 p., <http://www.ainc-inac.gc.ca/clc/tp/sts_e.pdf >, [consultation : 20 janvier 2007].

Northern Ontario Perinatal and Child Health Survey Consortium. *Child safety and unintentional injuries in northern Ontario*, rapport rédigé par le Northern Ontario Perinatal and Child Health Survey Consortium, 2002, <http://www.kidsgrowontario.com/report_library/documents/Childsafetyandunintentionalinjuryreport-final.pdf>, [consultation : 16 août 2007].

NorthWatch. *Undermining Superior: a report on mining activities and impacts in the Lake Superior basin*, NorthWatch, North Bay (Ontario), 2001, 16 p.

Nriagu, J.O., H.K.T. Wong, G. Lawson et P. Daniel. « Saturation of ecosystems with toxic metals in Sudbury basin, Ontario, Canada », *The Science of the Total Environment*, vol. 223, n° 2-3, 1998, pp. 99-117.

Obbard, M.E. Temporal trends in the body condition of southern Hudson Bay polar bears, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Direction de la recherche appliquée et du développement, *Climate Change Research Information* Note n° 3, 2006, 8 p.

Obbard, M. et L. Walton. *The importance of Polar Bear Provincial Park to the southern Hudson Bay polar bear population in the context of future climate change*, Parks Research Forum of Ontario (PRFA), assemblée générale annuelle tenue du 4 au 6 mai 2004 à Lakehead University, Thunder Bay (Ontario), 2004, pp. 105-116.

O'Connor, D. *Report on the Walkerton Inquiry, Part One: the events of May 2000 and related issues*, ministère du Solliciteur général de l'Ontario, 2002., 504 p.

Ogden, N.H., I. K. Barker, G. Beauchamp, S. Brazeau, D. F. Charron, A. Maarouf, M. G. Morshed, C. J. O'Callaghan, R. A. Thompson, D. Waltner-Toews, M. Waltner-Toews et L. R. Lindsay. « Investigation of ground level and remote-sensed data for habitat classification and prediction of survival of Ixodes scapularis », dans *Habitats of Southeastern Canada*, *Journal of Medical Entomology*, vol. 43, n° 2, 2006a, pp. 403-414.

Ogden, N.H., M. Bigras-Poulin, C.J. O'Callaghan, I.K. Barker, L.R. Lindsay, A. Maarouf, K.E. Smoyer-Tomic, D. Waltner-Toews et D. Charron. « A dynamic population model to investigate effects of climate on geographic range and seasonality of the tick Ixodes scapularis », *International Journal for Parasitology*, vol. 35, n° 4, 2005, pp. 375-389.

Ogden, N.H., L.R. Lindsay, G. Beauchamp, D. Charron, A. Maarouf, C.J. O'Callaghan, D. Waltner-Toews et I.K. Barker. « Investigation of relationships between temperature and developmental rates of tick Ixodes scapularis (Acari: Ixodidae) in the laboratory and field », *Journal of Medical Entomology*, vol. 41, n° 4, 2004, pp. 622-633.

Ogden, N.H., A. Maarouf, I.K. Barker, M. Bigras-Poulin, L.R. Lindsay, M.G. Morshed, C.J. O'Callaghan, F. Ramay, D. Waltner-Toews et D. Charron. « Climate change and the potential for range expansion of the Lyme disease vector Ixodes scapularis in Canada », *International Journal for Parasitology*, vol. 36, 2006c, pp. 63-70.

Ogden, N.H., L. Trudel, H. Artsob, I.K. Barker, G. Beauchamp, D.F. Charron, M.A. Drebot, T.D. Galloway, B. O'Handley, R.A. Thompson et L.R. Lindsay. « Ixodes scapularis ticks collected by Passive surveillance in Canada: analysis of geographic distribution and infection with Lyme Borreliosis agent Borrelia burgdorferi », *Journal of Medical Entomology*, vol. 43, n° 3, 2006b, pp. 600-609.

Ontario Medical Association. *The illness costs of air pollution: 2005-2026 health and economic damage estimates*, Ontario Medical Association, Toronto (Ontario), 2005, 11 p.

Ontario Power Authority. *Ontario Power Authority supply mix advice report*, Ontario Power Authority, Toronto (Ontario), vol. 1 (décembre 2005), 2005, 129 p.

Ontario Prospectors Association. Ontario mining and exploration directory, 2007, Ontario Prospectors Association, Thunder Bay (Ontario), 2007, 61 p.

Ormond, P. *GRIDS background study: Hamilton's vulnerability to climate change*, rapport rédigé par ECO5 Inc. pour la ville de Hamilton, 2004, 41 p.

Owensby, C.E. R. Cochran et L. Auen. « Effects of elevated carbon dioxide on forage quality for ruminants », dans *Carbon Dioxide, Populations, and Communities*, C. Koerner et et. Bazzaz, Academic Press (Elsevier Science), San Diego, Californie, 1996, pp. 363-371.

Parker, W.C., S.J. Colombo, M.L. Cherry, M.D. Flannigan, S. Greifenhagen, R.S. McAlpine, C. Papadopol et T. Scarr. « Third millennium forestry: what climate change might mean to forests and forest management in Ontario », *The Forestry Chronicle*, vol. 76, n° 3, 2000, pp. 445-463.

Pellegrini, E., G. Lorenzi et C. Nai. « The 2003 European heat wave: which role for ozone? some data from Tuscany, Central Italy », *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 181, n° 1-4, 2007, pp. 401-408.

Pengelly, D., C. Cheng et M. Campbell. *Summary report: influence of weather and air pollution on mortality in Toronto*, Toronto Public Health, Toronto (Ontario), 2005, 30 p.

Perrotta, K. Environmental health issues in the City of Toronto, Toronto Public Health, Toronto (Ontario), 1999.

Peters, R., S. Hall et M. Winfield. *A quick-start energy-efficiency strategy for Ontario*, The Pembina Institute, Calgary (Alberta), 2006, 43 p.

Pollution Probe et le Summerhill Group. A green power vision and strategy for Canada: towards a sustainable electricity future for Canada, *Pollution Probe*, Toronto (Ontario), 2004, 18 p.

Quinn, F. *The potential impacts of climate change on Great Lakes transportation, sommaire et compte rendu de l'atelier portant* sur les impacts possibles du changement climatique sur les modes de transport, tenu les 1 et2 octobre 2002 a Washington, DC, 2002, p. 115-123.

Quinn, F. et C. Sellinger. « A reconstruction of Lake Michigan-Huron water levels derived from tree ring chronologies for the period 1600-1961 », *Journal of Great Lakes Research*, vol. 32, n° 1, 2006, pp. 29-39.

Rainham, D.G.C., K.E. Smoyer-Tomic, S.C. Sheridan et R.T. Burnett. « Synoptic weather patterns and modification of the association between air pollution and human mortality », *International Journal of Environmental Health Research*, vol. 15, n° 5, 2005, pp. 347-360.

Reid, S. Winds of change: farm-level perception and adaptation to climate risk in Perth County, Ontario, these de maîtrise, Department of Rural Planning and Development, University of Guelph, Guelph (Ontario), 2003.

Réseau de recherche canadien sur les impacts et l'adaptation – Agriculture. *Report from producer survey at Canada's Outdoor Farmshow*, Woodstock (Ontario), Réseau de recherche canadien sur les impacts et l'adaptation – Agriculture, University of Guelph, Guelph (Ontario), 2002.

Réseau Grands Lacs Voie maritime du Saint-Laurent. Infos, Réseau Grands Lacs Voie maritime du Saint-Laurent, 2006, <http://www.greatlakes-seaway.com/fr/aboutus/index.html>, [consultation : 22 octobre 2006].

Resource Futures International. *Guidance document on incorporating climate change into community planning*, rapport remis à Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, 2004, 40 p.

Ressources naturelles Canada. Communautés dépendantes des mines, 2001 , Ressources naturelles Canada, Atlas du Canada, 2001, <http://atlas.nrcan.gc.ca/site/francais/maps/economic/rdc2001/rdcmin>, [consultation : 11 juillet 2007].

Ressources naturelles Canada. *Ontario, Ressources naturelles Canada*, Atlas du Canada, 2002, <http://atlas.nrcan.gc.ca/site/francais/maps/reference/provincesterritories/ontario/map.jpg>, [consultation : 15 août 2007].

Ressources naturelles Canada. *Bassin des Grands Lacs, Ressources naturelles Canada* Atlas du Canada, 2003, <http://atlas.nrcan.gc.ca/site/francais/maps/reference/provincesterritories/gr_lks>, [consultation : 14 août 2007].

Ressources naturelles Canada. *L'état des forêts au Canada 2005-2006 : la compétitivité de l'industrie forestière*, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, 2006, 79 p., <http://warehouse.pfc.forestry.ca/HQ/26337.pdf>, [consultation : 11 juillet 2007].

Richards, A. « The Walkerton health study », *Canadian Nurse*, vol. 101, n° 5, 2005, pp. 16-21.

Rickett, C., E. Shapero et E. Di Iorio. « Downloading climate change: municipalities are bearing the costs », Municipal World, novembre 2006.

Riedel, D. « Santé et bien-être humains », dans *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne*, D.S. Lemmen et F.J. Warren (éd.), Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2004, pp. 165-186.

Roberts, L. « How fast can trees migrate? if the climate models are correct, greenhouse warming will spell doom for many forests across the United States », *Science*, vol. 243, n° 4892, 1989, pp. 735-737.

Robson, A. et T. Gruetzner. *McGuinty government gives green light to renewable energy projects*, ministère de l'Énergie de l'Ontario, communiqué de presse, 24 novembre 2004.

Rush, C. « Let it snow: mild weather idles ski hill lifts as operators hope for winter's arrival — ski resort jobs on the edge », *Toronto Star*, 19 décembre 2006, p. 1.

Sarrouh, S.F. et N. Ramadan. « Monitoring the effect of zebra mussels on raw-water intakes », *Journal of the American Waterworks Association*, vol. 86, n° 5, 1994, pp. 98-102.

Scarr, T. « Insects and climate change », dans *The Impacts of Climate Change on Ontario's Forests*, S.J. Colombo et L.J. Buse (éd.), ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 1998, pp. 16-17.

Schindler, D.W. « The cumulative effects of climate warming and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 58, n° 1, 2001, pp. 18-29.

Schindler, D.W., S.E. Bayley, B.R. Parker, K.G. Beaty, D.R. Cruikshank, E.J. Fee, E.U. Schindler et M.P. Stainton. « The effects of climatic warming on the properties of boreal lakes and streams at the Experimental Lakes Area, northwestern Ontario », *Limnology and Oceanography*, vol. 41, n° 5, 1996, pp. 1004-1017.

Schuster, C.J., Ellis, A.G., Robertson, W.J., Charron, D.F., Aramini, J.J., Marshall, B.J. et D.T. Medeiros. « Infectious disease outbreaks related to drinking water in Canada, 1974-2001 », *Revue canadienne de santé publique*, vol. 94, n° 4, 2005, pp. 254-258.

Schwartz, R.C., P.J. Deadman, D.J. Scott et L.D. Mortsch. « Modeling the impacts of water level changes on a Great Lakes community », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 4, n° 3, 2004, pp. 647-662.

Scott, D. et B. Jones. *Climate change and nature-based tourism in Canada*, rapport technique rédigé pour Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, 2006a, 24 p.

Scott, D. et B. Jones. « The impact of climate change on golf participation in the Greater Toronto Area: a case study », *Journal of Leisure Research*, vol. 38, n° 3, 2006b, pp. 363-380.

Scott, D., B.Jones et H. Abi Khaled. The vulnerability of tourism and recreation in the National Capital Region to climate change, rapport technique remis à Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, 2005, 63 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/143_e.pdf>, [consultation : 16 août 2007].

Scott D, B. Jones, C. Lemieux, G. McBoyle, B. Mills, S. Svenson et G. Wall. *The vulnerability of winter recreation to climate change in Ontario's Lakelands Tourism Region*, University of Waterloo, Department of Geography Publication Series, Publication hors-série n° 18, Waterloo (Ontario), 2002, 84. p.

Scott D., G. McBoyle et B. Mills B. « Climate change and the skiing industry in Southern Ontario (Canada): exploring the importance of snowmaking as a technical adaptation », *Climate Research*, vol. 23, n° 2, 2003, pp. 171-181.

Scott, D., G. McBoyle, B. Mills et A. Minogue. « Climate change and the sustainability of ski-based tourism in eastern North America », *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 14, n° 4, 2006, pp. 376-398.

Sécurité publique Canada. *Base de données canadiennes sur les désastres*, Sécurité publique Canada, 2006, <http://www.publicsafety.gc.ca/res/em/cdd/search-fr.asp>, [consultation : 12 juillet 2007].

Shortt, R. W.J. Caldwell, J. Ball et P. Agnew. « A participatory approach to water management irrigation advisory committees in southern Ontario », 57e Congrès annuel de l'Association canadienne des ressources hydriques, tenu du 16 au 18 juin à Montréal (Québec), 2004.

Shuter, B.J. et N.P. Lester. 2003. « Climate change and sustainable lake exploitation: Predictions from a regional life history model », dans *Boreal Shield Watersheds: Lake Trout ecosystems in a changing environment*, J.M. Gunn, R.J. Steedman et R.A. Ryder (éd.), Lewis Publishers, New York, New York, 2003, pp. 281-291.

Shuter, B, C.K. Minns et N. Lester. « Climate change, freshwater fish and fisheries: case studies from Ontario and their use is assessing potential impacts », dans *Fisheries and a Changing Climate*, N.A. McGinn (éd.), American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 2002.

Singh, B., M. El Maayar, P. Andre, C.R. Bryant et J.P. Thouez. « Impacts of a GHG-induced climate change on crop yields: effects of acceleration in maturation, moisture stress and optimal temperature », *Climatic Change*, vol. 38, n° 1, 1998, pp. 51–86.

Smit, B., E. Harvey et C. Smithers. « How is climate change relevant to farmers », dans *Climate Change Communication: Proceedings of an International Conference*, June 22–24, 2000, Kitchener-Waterloo, D. Scott, B. Jones, J. Andrey, R. Gibson, P. Key, L. Mortsch et K. Warriner (éd.), Environnement Canada, 2000.

Smit, B., O. Pilifosova, I. Burton, B. Challenger, S. Huq, R.J.T. Klein et G. Yohe. « Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 877–912, <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm> [consultation : 6 mai 2007].

Smith, J., B. Lavender, H. Auld, D. Broadhurst et T. Bullock. « Adapting to climate variability and change in Ontario », dans *l'Étude pancanadienne : impacts climatiques et adaptation*, Environnement Canada, vol. IV, 1998, 117 p.

Smithers, J. et A. Blay-Palmer. « Technology innovation as a strategy for climate change adaptation in agriculture », *Applied Geography*, vol. 21, 2001, pp. 175–197.

Smoyer, K., D. Rainham et J. Hewko. *Integrated analysis of heat-related mortality in the Toronto-Windsor corridor, Environnement Canada, Toronto-Niagara Region Study on Atmospheric Change*, Report and Working Paper Series, Rapport 99-1, 1999.

Smoyer, K., D. Rainham et J. Hewko. « Heat stress mortality in five cities in southern Ontario: 1980 – 1996 », *International Journal of Biometeorology*, vol. 44, n° 4, 2000, pp. 190-197.

Sousounis, P. et J. Bisanz (éd.). Preparing for a changing climate: the potential consequences of climate variability and change, Great Lakes, United.States Global Change Research Program, 2000, 106 p.

Spears, J. « Power shortfall worsens, IMO says », Toronto Star, 29 mai 2003, <http://www.ontariotenants.ca/electricity/articles/2003/ts-03e29.phtml>, [consultation : 25 janvier 2007].

Statistique Canada. *Le transport maritime au Canada – 2003*, Statistique Canada, Ottawa, 2005, 198 p.

Statistique Canada. *Profil de la population canadienne : où vivons- nous ?* Recensement de 2001, Statistique Canada, 2002, <http://geodepot.statcan.ca/Diss/Highlights/Highlights_f.cfm >, [consultation : 16 juillet 2007].

Statistique Canada. Variations de la population à l'échelle des communautés, Statistique Canada, 2003a, <http://geodepot.statcan.ca/Diss/Highlights/Page12/Page12_f.cfm>, [consultation : 10 décembre 2006].

Statistique Canada. Données sur les exploitants agricoles du Recensement de l'agriculture de 2001, Statistique Canada, n° de catalogue 95F0355XIF, 2003b.

Statistique Canada. *Enquête auprès des peuples autochtones de 2001 — rapports provinciaux : population autochtone hors réserve*, Statistique Canada, n° de catalogue 89- 618-XIF, 2006, 122 p.

Stirling, I. et T.G. Smith. « Implications of warm temperatures and an unusual rain event for the survival of ringed seals on the coast of southeastern Baffin Island », *Arctic*, vol. 57, n° 1, 2004, pp. 59-67.

Stirling, I., N.J. Lunn et J. Iacozza.1999. « Long-term trends in the population ecology of polar bears of western Hudson Bay in relation to climatic change », *Arctic*, vol. 52, n° 3, 1999, pp. 294-306.

Suthey Holler Associates. *Development manual for a community-based ATV tourism product*. Suthey Holler Associates, Toronto (Ontario), 2003, 145 p.

Teotonio, I., N. Kyonka et R. Avery. « Blue Mountain lays off 1300 », *Toronto Star*, 6 janvier 2007, <http:www.thestar.com/printArticle/168483>, [consultation : 24 janvier 2007].

Thompson, I.D., M.D. Flannigan, B.M. Wotton et R. Suffling. « The effects of climate change on landscape diversity: an example in Ontario forests ». *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 49, n° 2-3, 1998, pp. 213-233.

Thompson, W., D. Burns et Y. Mao. *Feasibility of identifying heat-related illness and deaths as a basis for effective climate change risk management and adaptation*, rapport remis à Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, 2001, 59 p.

Thorp, S. et J. Stone. *Recreational boating and the Great Lakes - St. Lawrence region*, Great Lakes Commission, Ann Arbor, Michigan, 2000, 8 p.

Toronto and Region Conservation Authority. *Moving toward the living city*, Toronto and Region Conservation Authority, Downsview (Ontario), 2006a, 9 p.

Toronto and Region Conservation Authority. *Don mouth naturalization and port lands flood protection project*, revised terms of reference, June 2006, Toronto and Region Conservation Authority, Downsview (Ontario), 2006b, 98 p.

Transports Canada. Les transports au Canada 2005; Transports Canada, rapport annuel, 2005, 2006, <http://www.tc.gc.ca/pol/en/report/anre2005/toc_f.htm>, [consultation : 13 juillet 2007].

Vander Zanden, M.J., J.D. Olden, J.H. Thorne et N.E. Mandrak. « Predicting occurrences and impacts of smallmouth bass introductions in north temperate lakes », *Ecological Applications*, vol. 14, n° 1, 2004, pp. 132–148.

Venema, H.D. et M. Cisse. *Seeing the light, adapting to climate change with decentralized renewable energy in developing countries*, International Institute for Sustainable Development, Winnipeg (Manitoba), 2004, 174 p.

Ville d'Ottawa. Budget 2005, Ville d'Ottawa, 2005. http://ottawa.ca/city_hall/budget/previous_budgets/budget_2005/final/operating/final_operating_publicworks01.pdf), [consultation : 15 août 2007].

Vincent, L.A. et É. Mekis. « Changes in daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the 20th Century », *Atmospheric-Ocean*, vol. 44, n° 2, 2005, pp. 177-193.

Volney, W.J.A et R.A. Fleming. « Climate change and impacts of boreal forest insects », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 82, n° 1–3, 2000, pp. 283–294.

Wagner, R.G. « Top 10 principles for managing competing vegetation to maximize regeneration success and long-term yields », dans *Proceedings, The Thin Green Line: A Symposium on the State-of-the-Art in Reforestation*, S.J. Colombo (éd.), ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Forest Research Information Paper N°. 160, 2005, pp. 32-36.

Walker, R.R. *Assessment of climate change impacts in the Bay of Quinte*, Ontario, rapport rédigé pour Environnement Canada, Groupe de recherche sur l'adaptation environnementale, 1996.

Wall, E., B. Smit et J. Wandel. *Farming in a Changing Climate: Impacts, Context and Processes for Agricultural Adaptation in Canada*, University of British Columbia Press, Vancouver (Colombie-Britannique), 2007, 304 p.

Walter, S.D., W.D. King et L.D. Marrett. « Association of cutaneous malignant melanoma with intermittent exposure to ultraviolet radiation: results of a case-control study in Ontario, Canada », *International Journal of Epidemiology*, vol. 28, n° 3, 1999, pp. 418–427.

Waltner-Toews, D. Links between climate, water and waterborne illness, and projected impacts of climate change, rapport remis à Santé Canada, Programme de recherche sur les politiques en matière de santé, 2005.

Ward, P.C., A.G. Tithecott et B.M. Wotton. « Reply – a re-examination of the effects of fire suppression in the boreal forest », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 31, n° 8, 2001, pp. 1497-1480.

Wargo, P.M. et T.C. Hartington. « Host stress and susceptibility », dans *Armillaria Root Disease*. C.G. Shaw et G.A. Kile (éd.), United States Department of Agriculture, Forestry Service, Agricultural Handbook 691, 1991, 233 p.

Wawatay News. All season roads could link six communities, Wawatay News, 25 août 2005, 2005a, <http://www.wawatay.on.ca/index.php?module=pagesetter&func=viewpub&tid=1&pid=1267>, [consultation : 15 août 2007].

Wawatay News. Mild winter delays winter road openings, Wawatay News, 5 janvier 2006, 2005b, <http://www.wawatay.on.ca/index.php?module=pagesetter&func=viewpub&tid=5&pid=15>, [consultation : 15 août 2007].

Weber, M.G. et M.D. Flannigan. « Canadian boreal forest ecosystem structure and function in a changing climate: Impact on fire regimes », *Environmental Reviews*, vol. 5, n° 3-4, 1997, pp. 145-166.

Whillans, T.H. « Assessing threats to fishery values of Great Lakes wetlands », dans *Proceedings: International Wetland Symposium - Wetlands of the Great Lakes*, J. Kusler et R. Smardon (éd.), The Association of State Wetland Managers, Niagara Falls, New York, 1990, pp. 156-164.

Wianecki, K. et E. Gazendam. *Flood damages in Ontario 1996–2003*, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 2004, 33 p.

Winkler J., J. Andresen, G. Guentchev et R. Kriegel. « Possible impacts of projected temperature change on commercial fruit production in the Great Lakes region », *Journal of Great Lakes Research*, vol. 28, n° 4, 2002, p. 608–625.

Wright-Laking, N. City of Peterborough flood 2004, 13e conférence annuelle des municipalités de l'Est de l'Ontario, tenue du 14 au 16 septembre 2005 À Kingston (Ontario), 2005, <http://www.oemc.ca/2005pdfs/PeterboroughDisasterResponseTeam.pdf>, [consultation : 15 août 2007].

Yap, D., N. Reid, G. De Brou et R. Bloxam. *Transboundary air pollution in Ontario*, ministère de l'Environnement de l'Ontario, 2005, 114 p.

Zhang, X., W.D. Hogg et É. Mekis. « Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation events over Canada », *Journal of Climate*, vol. 14, n° 9, 2001, pp. 1923-1936.

Zhang, X., L.A. Vincent, W.D. Hogg et A. Nitsoo. « Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th Century », *Atmosphere-Ocean*, vol. 38, n° 3, 2000, pp. 395-429.

Ziska, L. « Invasive weeds », dans Impacts of Climate Change on Horticulture Symposium, tenu en conjunction avec la conférence centenaire de la American Society for Horticultural Science, le 4 octobre 2003 à Providence, Rhode Island, 2004.

Zulak, J., D. VanVliet et J. George. *Energy options for Aboriginal and northern communities*: discussion paper prepared for Indian and Northern Affairs Canada, 2000. 18 p.

CHAPITRE 7
Prairies

Auteurs principaux :
Dave Sauchyn[1] et Suren Kulshreshtha[2]

Collaborateurs :
Elaine Barrow (*Université de Regina*), Danny Blair (*Université de Winnipeg*), Jim Byrne (*Université de Lethbridge*), Debra Davidson (*Université de l'Alberta*), Polo Diaz (*Université de Regina*), Norm Henderson (*Université de Regina*), Dan Johnson (*Université de Lethbridge*), Mark Johnston (*Saskatchewan Research Council*), Stefan Kienzle (*Université de Lethbridge*), Justine Klaver (*Université de l'Alberta*), Jeff Thorpe (*Saskatchewan Research Council*), Elaine Wheaton (*Saskatchewan Research Council*)

Notation bibliographique recommandée :

Sauchyn, D. et S. Kulshreshtha. « Prairies », dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éditeurs), Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, pp. 275-328.

---

[1] Prairie Adaptation Research Collaborative, University of Regina, Regina (Saskatchewan)
[2] Department of Agricultural Economics, University of Saskatchewan, Saskatoon (Saskatchewan)

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 278
1.1 Description des provinces des Prairies 279
1.2 Environnement et économie par écozone 280

2 CLIMAT ET CARACTÉRISTIQUES SOCIO-ÉCONOMIQUES DE LA RÉGION 282
2.1 Données démographiques 282
2.2 Activités économiques et emploi 283
2.3 Tendances et projections économiques et sociales 284
2.4 Climat du passé 284
2.5 Scénarios du climat à venir 285

3 SENSIBILITÉS ET PRINCIPALES VULNÉRABILITÉS : CAPITAL NATUREL 290
3.1 Ressources en eau 290
3.2 Écosystèmes 292
3.3 Pédopaysages 295

4 RISQUES ET POSSIBILITÉS : SECTEURS SOCIO-ÉCONOMIQUES 296
4.1 Agriculture 296
4.2 Industrie forestière 301
4.3 Transports 304
4.4 Collectivités 306
4.5 Santé 309
4.6 Énergie 311
4.7 Tourisme et loisirs 313

5 ADAPTATION ET CAPACITÉ D'ADAPTATION 314
5.1 Institutions officielles et gouvernance 314
5.1.1 Gestion des ressources en eau 315
5.1.2 Gestion des écosystèmes 316
5.1.3 Agriculture 316
5.1.4 Industrie forestière 317
5.1.5 Santé et bien-être 317
5.2 Adaptation à l'échelle locale, institutions non officielles et capital social 317

6 SYNTHÈSE 319

RÉFÉRENCES 321

PRINCIPALES CONCLUSIONS

Une augmentation des pénuries d'eau représente le risque le plus sérieux lié au climat. Les Prairies renferment la majeure partie des terres sèches du Canada. Parmi les récentes tendances observées et les prévisions pour l'avenir figurent la réduction du débit des cours d'eau en été, la baisse du niveau des lacs, le recul des glaciers et des déficits croissants en eau du sol et en eaux de surface. Une augmentation de la fréquence des années sèches entrainera probablement une tendance à l'accroissement de l'aridité. Cependant, les mesures de gestion et de conservation de l'eau continueront de permettre l'adaptation au changement et à la variabilité du climat. Ces mesures pourraient comprendre des technologies d'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau ainsi que des systèmes de tarification de l'eau qui refléteraient mieux les coûts réels du traitement de l'eau et de son approvisionnement, et aideraient à faire en sorte que cette ressource de plus en plus rare soit attribuée de façon appropriée. L'augmentation de la productivité des forêts, des prairies et des cultures due au réchauffement et à l'accroissement du CO_2 atmosphérique pourrait être limitée par l'humidité disponible dans le sol, et les sols asséchés sont, en outre, plus vulnérables à la détérioration. La rareté de l'eau, qui représente une contrainte pour tous les secteurs et collectivités, pourrait ainsi freiner la croissance économique et démographique dont jouit l'Alberta.

Les écosystèmes subiront les conséquences des modifications se manifestant au niveau du bioclimat, des changements des régimes de perturbation (p. ex., les insectes et les incendies), de l'imposition de stress aux habitats aquatiques et de l'apparition de plantes et d'animaux exotiques. Ces répercussions se feront le plus remarquer dans les îlots de forêt isolés et les zones forestières périphériques. Les conséquences se feront sentir sur les moyens de subsistance (p. ex., pour les Autochtones) et sur les secteurs économiques (p. ex., l'agriculture, l'industrie forestière) qui dépendent énormément des écoservices. Des ajustements devront être apportés à la gestion des écosystèmes pour permettre au changement de se produire d'une façon durable.

Les Prairies voient disparaître certains des avantages que leur procuraient les hivers froids. Ces derniers aidaient à restreindre l'étendue des ravageurs et des maladies, facilitaient les travaux entrepris en hiver dans les secteurs de la foresterie et de l'énergie et permettaient un accès plus facile aux collectivités éloignées grâce aux chemins d'hiver. À mesure que les températures continuent de grimper, ces avantages vont diminuer, voire disparaître. Par exemple, le dendoctrone du pin ponderosa pourrait s'étendre et attaquer les forêts de pin gris des Prairies, les sites d'exploration et de forage pourraient devenir moins accessibles et il serait fort probable que la saison où les chemins d'hiver sont praticables raccourcisse.

Les ressources et les collectivités sont sensibles à la variabilité du climat. Le climat des Prairies est l'un des plus variables du monde. Cette variabilité s'est avérée à la fois coûteuse (p. ex., elle a entraîné une diminution de la production agricole d'environ 3,6 milliards de dollars au cours de la période de sécheresse de 2001 et 2002) et à l'origine de la plupart des réactions d'adaptation à la variabilité climatique. Les prévisions des conditions climatiques pour l'avenir font état non seulement d'une augmentation de la fréquence des sécheresses, mais aussi d'une hausse des précipitations sous forme de pluie et de la probabilité accrue d'inondations graves. Les phénomènes extrêmes et un élargissement de la plage des écarts d'une année à l'autre par rapport aux normales climatologiques posent pour l'économie des Prairies des risques plus importants qu'un simple décalage dans les conditions moyennes.

La capacité d'adaptation, bien que grande, est répartie inégalement. Par conséquent, les degrés de vulnérabilité sont inégaux sur les plans géographique (p. ex., les collectivités rurales ont généralement moins de ressources et de capacités d'intervention en cas d'urgence) et démographique (p.ex., les populations de personnes âgées, d'Autochtones et d'immigrants nouvellement arrivés sont celles qui croissent le plus rapidement et qui sont les plus vulnérables aux répercussions sur la santé). Le changement climatique pourrait favoriser une migration accrue des collectivités rurales vers les villes et vers les régions possédant le plus de ressources (p. ex., les villes de l'Alberta). La capacité d'adaptation sera mise à l'épreuve par les augmentations prévues de la variabilité du climat et de la fréquence des phénomènes extrêmes.

Les processus d'adaptation ne sont pas bien compris. Même si une capacité d'adaptation élevée pouvait réduire les répercussions possibles du changement climatique, on ne sait pas tout à fait comment cette capacité sera appliquée. La plupart des recherches existantes ne rendent pas bien compte des mesures ni des processus d'adaptation. Cette capacité n'est que potentielle – les institutions et la société civile joueront un rôle clé dans sa mobilisation. Des mesures d'adaptation récemment appliquées au secteur agricole, telles que les techniques de travail réduit du sol et la diversification des cultures, la politique de l'eau adoptée en Alberta, la reconfiguration du canal de dérivation de la rivière Rouge, les programmes municipaux d'infrastructures et de conservation de l'eau, ont amélioré le niveau de résistance et accru la capacité d'adaptation.

1 INTRODUCTION

La plupart des modèles climatiques laissent prévoir de grandes élévations de la température annuelle moyenne aux hautes latitudes de l'hémisphère Nord (Cubasch *et al.* 2001). Conformément à ces prévisions, les températures enregistrées dans les provinces des Prairies indiquent d'importantes tendances à la hausse, en particulier depuis les années 1970 (*voir* la figure 1). Les conséquences favorables de ce réchauffement général, en particulier l'élévation des températures printanières, sont un allongement et un réchauffement de la saison de croissance, et une augmentation de la productivité des forêts, des cultures et des prairies là où l'humidité du sol est adéquate.

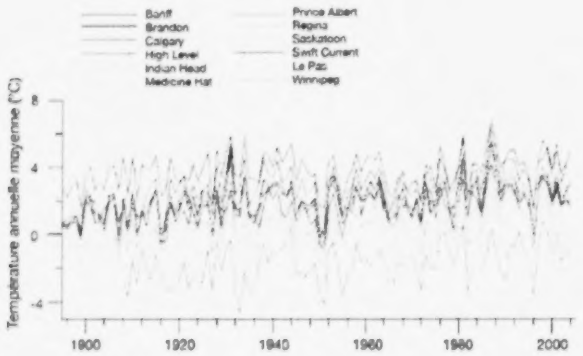


FIGURE 1 : Tendances de la température annuelle moyenne depuis 1985 enregistrées à 12 stations climatologiques réparties dans les provinces des Prairies. Ces 12 stations rapportent une augmentation moyenne de 1,6 °C de la température annuelle moyenne (Environnement Canada, 2005).

Malheureusement, on prévoit également un assèchement estival des régions centrales des continents sur toute la planète, car l'augmentation des pertes d'eau par évapotranspiration ne sera pas compensée par un accroissement des précipitations (Gregory *et al.*, 1997; Cubasch *et al.* 2001). Les prévisions vont de déficits légers d'humidité dans le sol (Seneviratne *et al.*, 2002) à des déficits graves (Wetherald et Manabe, 1999), principalement en fonction de la complexité de la simulation des processus en jeu à la surface des terres. Le taux d'aridité accru aura des conséquences majeures pour les provinces des Prairies, soit la région la plus étendue et la plus sèche du Canada. Les déficits hydriques à court terme (sécheresses) périodiques ont un effet sur l'économie, l'histoire, l'environnement et la culture des Prairies. Toutes les régions du pays connaissent des déficits en eau saisonniers, mais ce n'est que dans les provinces des Prairies que les précipitations peuvent cesser pendant plus d'un mois, que l'eau de surface peut disparaître pendant des saisons entières, et que les déficits en eau peuvent persister pendant des décennies ou plus, autant de phénomènes susceptibles de créer un risque de désertification des paysages.

La baisse des niveaux des lacs des Prairies (*voir* la figure 2) semble indiquer également que l'on assiste à la création d'un milieu en voie

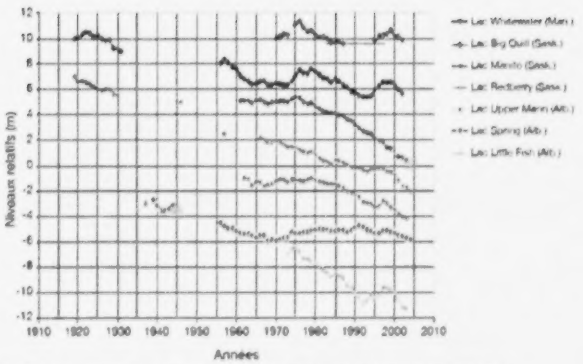


FIGURE 2 : Niveaux d'eau historiques de lacs à bassin fermé des Prairies. *Tiré de* van der Kamp *et al.*, 2006; van der Kamp et Keir, 2005.

d'assèchement. Les lacs à bassin fermé sont des indicateurs sensibles des changements hydrologiques et climatiques (van der Kamp et Keir, 2005; van der Kamp *et al.*, 2006). Les fluctuations du niveau des lacs peuvent être liées à l'utilisation des terres et aux dérivations des eaux, mais les tendances similaires observées dans des lacs de l'ensemble des Prairies mettent en cause des paramètres climatiques, en particulier les hausses des températures, les changements dans la quantité de neige (Gan, 1998), les changements de l'intensité des pluies (Akinremi *et al.*, 1999) et les bilans hydriques de ces lacs.

Les collectivités et les institutions des provinces des Prairies sont très aptes à tirer avantage des températures plus élevées et à minimiser les répercussions nuisibles du changement climatique en raison de leur abondance relative de capital financier, de capital social et de capital naturel. On constate cependant des disparités à l'échelle de la sous-région qui sont le produit des forces et des faiblesses reliées aux facteurs déterminants de la capacité d'adaptation (*voir* le tableau 1). Il existe, cependant, des facteurs socioé·conomiques et environnementaux clés sous-jacents à la vulnérabilité de la région au changement climatique. Par exemple, les Prairies :

- constituent la plus vaste région de terres sèches du Canada, où les déficits en eau saisonniers et prolongés définissent le milieu naturel et influent fortement sur les activités humaines;
- englobent plus de 80 p. 100 des terres agricoles du Canada, où la production et les paysages sont sensibles à la variabilité du climat;
- comptent sur l'eau d'irrigation provenant des Rocheuses, dont l'hydrologie est sujette à subir les effets du changement climatique;
- jouissent d'un climat qui, depuis la colonisation par les Européens, n'a pas été marqué par les sécheresses prolongées des siècles antérieurs;
- subiront, selon certains scénarios de changement climatique, des sécheresses plus graves;
- ont besoin d'eau pour traiter les plus grandes réserves de pétrole et de gaz du Canada;

TABLEAU 1 : Capacité d'adaptation dans les Prairies : forces et faiblesses.

Élément déterminant	Forces	Faiblesses
Ressources économiquement exploitables	Importantes, spécialement en Alberta et dans les centres urbains	Les collectivités rurales éloignées manquent de diversification économique; individus par rapport aux entreprises (p. ex., les fermes familiales par rapport aux fermes constituées en sociétés)
Technologie	Énergie de remplacement et technologies de réduction des émissions de gaz à effet de serre	Moins de technologies d'adaptation (p. ex., conservation de l'eau)
Information et compétences	Divers programmes de recherche sur le changement climatique en association avec les universités et les organismes gouvernementaux	Restrictions dans les programmes de surveillance du climat et de l'eau; compréhension médiocre des dimensions sociales du changement climatique
Infrastructures	Bien développées dans les régions peuplées; conceptions actuelles qui tiennent compte du changement climatique (p. ex., canal de dérivation de Winnipeg); les retards dans la modernisation et le remplacement des infrastructures fournissent des possibilités de tenir compte du climat futur	Vaste superficie (p. ex., la Saskatchewan a plus de routes que toute autre province : Nix, 1995); déficits provenant des restrictions budgétaires imposées dans les années 1990
Institutions	Engagement dans le renforcement des capacités et l'évaluation de la vulnérabilité (p. ex., l'évaluation de la vulnérabilité par l'Alberta; Davidson, 2006; Sauchyn et al., 2007)	Accent mis sur l'atténuation; on ne fait que commencer à élaborer des stratégies d'adaptation
Équité	Programmes sociaux	Répercussions sur la santé des populations plus vulnérables : Premières nations, collectivités rurales, en particulier les établissements éloignés, les personnes âgées et les enfants

- comprennent les villes et les économies qui connaissent la croissance la plus rapide du Canada;
- ont la plus forte concentration de populations autochtones au Canada à l'extérieur des Territoires du Nord-Ouest, ces dernières constituant d'ailleurs le segment de la population de la région dont la croissance est la plus rapide.

Bien que les prairies ne représentent en fait qu'environ 25 p. 100 de la surface totale des provinces des Prairies, les Canadiens donnent néanmoins à ces dernières le nom de « Prairies », terminologie qui est donc adoptée dans le présent document. Pour traiter de l'écosystème des Prairies dans ce chapitre, les auteurs ont recours à la désignation officielle « écozone des Prairies », « prairie », ou « prairie mixte ». Ces concepts géographiques sont définis dans la section qui suit, laquelle expose brièvement l'environnement et l'économie des provinces des Prairies. La section 2 décrit les caractéristiques climatiques et socio-économiques qui exposent la population aux possibilités et aux risques actuels et futurs liés au climat. Dans les sections 3 et 4, on discute des sensibilités au climat actuel et des principales vulnérabilités au changement climatique du point de vue du capital naturel et des secteurs socio-économiques. Le processus d'adaptation et le concept de capacité d'adaptation sont étudiés à la section 5. Le chapitre se termine par une synthèse des principales conclusions.

1.1 DESCRIPTION DES PROVINCES DES PRAIRIES

Avec une population de 5 428 500 habitants et une superficie de près de deux millions de kilomètres carrés de terres et de plans d'eau, les provinces des Prairies représentent 20 p. 100 de la superficie du Canada (voir le tableau 2) et 17 p. 100 de sa population. L'Alberta, la Saskatchewan et le Manitoba ont des superficies à peu près égales, mais leurs populations ne le sont pas (*voir* le tableau 3). Les populations sont à caractère de plus en plus urbain (centres de plus de 1 000 habitants) et sont concentrées en Alberta. Entre 1901 et 2001, la proportion de la population de cette région classée urbaine s'est accrue, passant de moins de 25 p. 100 à plus de 75 p. 100 (*voir* la section 2).

Les provinces des Prairies s'étendent vers l'ouest à partir de la baie d'Hudson jusqu'à la crête des montagnes Rocheuses. Elles englobent donc plusieurs grandes zones climatiques, biogéographiques et géologiques, et des bassins hydrographiques (*voir* la figure 3). Cette région étant située à moyenne latitude dans la zone d'ombre pluviométrique des montagnes Rocheuses, le climat y est généralement froid et subhumide. Les températures saisonnières se caractérisent par des différences extrêmes; par exemple, de 1971 à 1990, les températures moyennes durant les mois les plus froids et les mois les plus chauds ont été de -7,8 °C et de 15,5 °C à Lethbridge, et de -17,8 °C et de 19,5 °C à Winnipeg. Les températures annuelles moyennes les plus élevées sont enregistrées dans le sud de l'Alberta, où les épisodes de chinook les réchauffent l'hiver; elles décroissent vers le nord de l'Alberta, de la Saskatchewan et du Manitoba, qui connaissent des étés courts et frais et des hivers froids (*voir* la figure 4a). Les précipitations annuelles varient considérablement d'une année à l'autre, allant de moins de 300 mm dans la prairie semi-aride à environ 700 mm dans le centre du Manitoba (*voir* la figure 4b) et à plus de 1 000 mm dans les parties les plus élevées des Rocheuses. Partout dans les provinces des Prairies, la neige joue un rôle important pour le stockage de l'eau et l'apport de l'humidité du sol. Les mois les plus humides vont d'avril à juin.

Les régimes de températures et de précipitations présentés à la figure 4 se traduisent par un déficit hydrique annuel dans les plaines

TABLEAU 2 : Superficie des terres et des plans d'eau douce (en km²) du Canada et des provinces des Prairies (*tiré de* Ressources naturelles Canada, 2001).

	Superficie totale	Terres	Eau douce	Pourcentage de la superficie totale
Canada	9 984 670	9 093 507	891 163	100,0
Manitoba	**647 797**	**553 556**	**94 241**	**6,5**
Saskatchewan	651 036	591 670	59 366	6,5
Alberta	**661 848**	**642 317**	**19 531**	**6,6**
Provinces des Prairies	1 960 681	1 787 543	173 138	19,6

TABLEAU 3 : Population du Canada et des provinces des Prairies (*tiré de* Statistique Canada, 2005a).

	Population (en milliers d'habitants)	
	2001	2005
Canada	31 021,3	32 270,5
Manitoba	**1 151,3**	**1 177,6**
Saskatchewan	1 000,1	994,1
Alberta	**3 056,7**	**3 256,8**
Provinces des Prairies	5 208,1	5 428,5

FIGURE 3 : Principaux bassins hydrographiques et provinces géologiques des provinces des Prairies.

du sud et de l'ouest, et par un surplus dans les Rocheuses et les contreforts, ainsi que dans le nord et l'est de la forêt boréale. La majorité du ruissellement provenant de ces régions plus humides est transportée vers l'est par le réseau hydrographique de la Saskatchewan, du Nelson et de la Churchill, jusque dans la baie d'Hudson, et vers le nord par les rivières Athabasca, de la Paix et Hay, jusqu'au Mackenzie et à l'océan Arctique (*voir* la figure 3). La quantité d'eau de ruissellement générée dans tout le sud des Prairies est faible, et de grandes superficies sont drainées par des cours d'eau intérieurs intermittents. Les quelques cours d'eau permanents du sud sont donc importants en tant que sources d'eau locales. Les rivières qui traversent les plaines du sud, dont l'eau fait l'objet d'une forte demande, présentent un contraste marqué avec les grandes rivières, les innombrables lacs et les populations éparses des forêts et du bouclier du Nord.

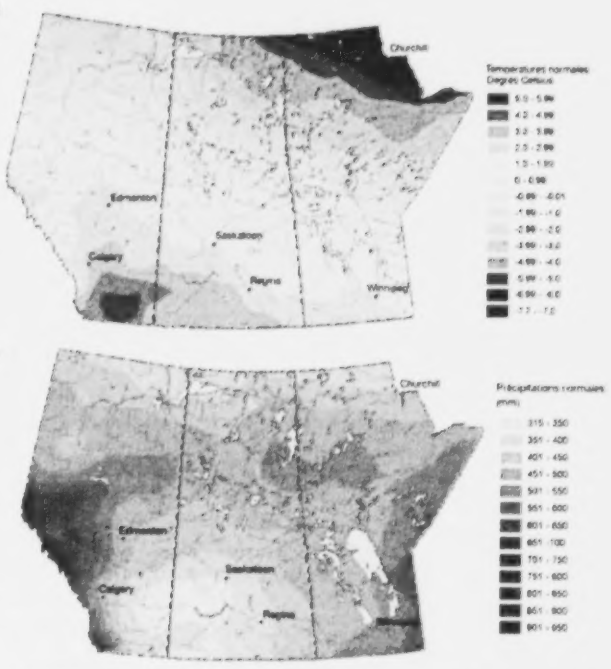


FIGURE 4 : Normales climatiques (de 1961 à 1990) pour les provinces des Prairies : a) températures et b) précipitations.

1.2 ENVIRONNEMENT ET ÉCONOMIE PAR ÉCOZONE

Sept écozones de la classification écologique des terres du Canada sont situées à l'intérieur des provinces des Prairies (*voir* la figure 5). Les écozones des Prairies et des plaines boréales comptent pour plus de 50 p. 100 de la superficie et englobent la majorité de la population. Les 25 p. 100 des provinces des Prairies qui constituent **l'écozone des Prairies** représentent le cœur agricole et industriel de la région. Il s'agit aussi de la région du pays qui a subi les modifications les plus grandes – il n'y reste que des vestiges des prairies mixtes et d'herbes hautes originelles, et moins de la moitié des terres humides d'avant la colonisation. La configuration des établissements reflète leurs fonctions d'origine en tant que centres

FIGURE 5 : Écozones des provinces des Prairies.

de services régionaux et points de collecte des produits agricoles le long des voies ferrées. Des centaines de collectivités ont disparu en raison de l'exode rural, du remembrement des exploitations agricoles et du système de collecte du grain, de l'abandon des voies ferrées et de la concentration des populations, des services et des richesses dans les centres urbains. Récemment, le Groupe financier de la banque TD (2005) a signalé que le PIB par habitant (une mesure du niveau de vie) dans le corridor de Calgary-Edmonton s'est accru de 4 000 $US entre 2000 et 2003, pour atteindre 44 000 $US, soit 47 p. 100 de plus que la moyenne canadienne.

Les provinces des Prairies comptent près de 50 p. 100 des fermes du Canada, mais plus de 80 p. 100 de ses terres agricoles (*voir* le tableau 4), principalement dans l'écozone des Prairies. Par le passé, l'exportation de céréales, d'oléagineux et de produits animaux a été une source importante d'échanges avec l'étranger pour le Canada. Maintenant, l'agriculture ne représente qu'un faible pourcentage du PIB des provinces par rapport à d'autres industries (*voir* la section 2), en particulier l'exploitation minière et la production d'énergie. La taille moyenne des fermes est beaucoup plus grande en Saskatchewan (plus de 500 ha) que dans les deux autres provinces. L'écozone des Prairies est caractérisée par des déficits en eau persistants et parfois graves. Les sécheresses sont très fréquentes et graves dans les prairies mixtes, l'une des cinq écorégions qu'englobe l'écozone des Prairies. Cette région est communément appelée « le triangle de Palliser », parce qu'elle a été décrite comme étant « comparativement inutile pour toujours » par John Palliser, après un levé effectué de 1857 à 1859. Dans cette sous-région du sud de l'Alberta et du sud-ouest de la Saskatchewan, la production de cultures agricoles et de fourrage est maintenue par l'irrigation, laquelle dépend de l'eau de ruissellement provenant des Rocheuses. L'irrigation représente la principale utilisation de l'eau en Alberta et en Saskatchewan, l'Alberta comptant presque deux tiers des terres irriguées du Canada.

Au nord des prairies et de la tremblaie, la végétation se transforme en forêts mixtes et de conifères – il y a environ 93 millions d'hectares de forêts dans les provinces des Prairies.

L'écozone des Plaines boréales du centre du Manitoba et de la Saskatchewan, et de la majeure partie du centre et du nord de l'Alberta a été la première région visitée par les Européens, car on y trouve des rivières navigables et des animaux à fourrure. Les plaines boréales sont maintenant de nouveau une région pionnière; en effet, elles comprennent d'importantes réserves de pétrole et de gaz, presque toute l'exploitation forestière commerciale, des terres agricoles en expansion dans le nord de l'Alberta et des centrales hydroélectriques au Manitoba et en Saskatchewan. Dans cette écozone, les populations autochtones ont conservé un mode de vie traditionnel et, pour elles, les espèces sauvages représentent des ressources particulièrement précieuses.

L'écozone du Bouclier boréal se trouve au nord et à l'est des plaines intérieures du nord de la Saskatchewan ainsi que du nord et de l'est du Manitoba. La mise en valeur des ressources des régions pionnières, en particulier l'exploitation minière, y constitue la pierre angulaire de l'économie. Les nations cries et dénées forment la majorité de la population.

Les quatre écozones restantes se trouvent sur les marges des provinces des Prairies et n'englobent qu'une petite partie de la superficie et de la population. **L'écozone de la taïga des Plaines** s'étend de la vallée du Mackenzie, dans les Territoires du Nord-Ouest, jusqu'aux vallées de ses tributaires du nord-ouest de l'Alberta. La productivité de la forêt de la taïga est restreinte par le climat plus froid et la courte saison de croissance. L'**Écozone de la taïga du Bouclier** traverse la région subarctique canadienne, y compris les extrémités nordiques du Manitoba et de la Saskatchewan et une petite partie du nord-est de l'Alberta. Comme le bouclier boréal, elle contient de riches ressources minérales et soutient le mode de vie traditionnel des nations cries et dénées. L'**écozone des Plaines hudsoniennes**, adjacente à la baie d'Hudson, dans le nord-est du Manitoba, est dominée par de vastes surfaces de terres humides. La ville de Churchill est un port de mer et un terminal ferroviaire d'importance. L'**écozone de la Cordillère montagnarde**, située dans les montagnes Rocheuses de l'ouest de l'Alberta, comporte une grande diversité écologique associée à des paysages de hauts reliefs allant des prairies à fétuque, de faible élévation, à la forêt montagnarde, aux forêts subalpines et à la toundra alpine. Les activités économiques dominantes y sont l'élevage du bétail et les loisirs au grand air. Une bonne partie de cette région est désignée en tant que parcs nationaux et provinciaux et zones protégées. L'exploitation des ressources, le charbonnage, l'exploitation forestière et la production de pétrole et de gaz entrent de plus en plus en conflit avec la protection de l'écologie et des bassins hydrographiques. La neige accumulée dans les montagnes et les glaciers de la Cordillère est la source de la majeure partie de l'écoulement des rivières et de l'approvisionnement en eau de tout le sud des Prairies.

TABLEAU 4 : Nombre de fermes et superficie (ha) des terres agricoles au Canada et dans les provinces des Prairies en 2001 (*tiré de* Statistique Canada, 2001b).

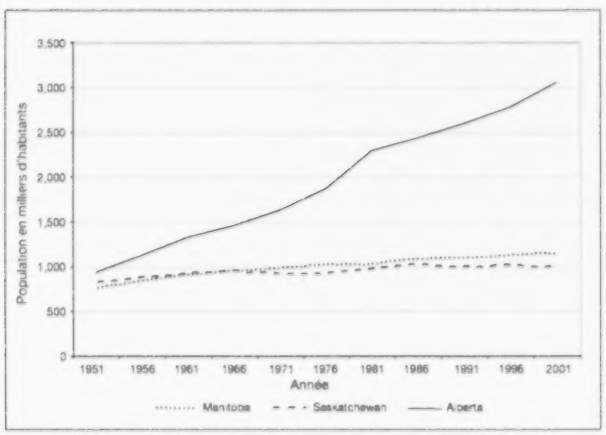
	Alberta	Saskatchewan	Manitoba	Provinces des Prairies	Canada
Nombre total de fermes	53 652	50 598	21 071	125 321	246 923
Superficie en hectares	21 067 486	26 265 645	7 601 779	54 934 910	67 502 447

2 CLIMAT ET CARACTÉRISTIQUES SOCIO-ÉCONOMIQUES DE LA RÉGION

2.1 DONNÉES DÉMOGRAPHIQUES

Le présent profil démographique des provinces des Prairies a été constitué à partir de rapports publiés par Statistique Canada (2001a, 2005a, b, d-g) et par la Canada West Foundation (Azmier, 2002; Hirsch, 2005a, b). Le nombre d'habitants des provinces des Prairies a doublé au cours des 50 dernières années pour atteindre plus de cinq millions. Cette croissance démographique n'est cependant pas répartie également entre les provinces (*voir* la figure 6). L'Alberta compte en effet maintenant près des deux tiers de la population de cette région, comparativement à un peu plus du tiers en 1951 (*voir* la figure 6). Cette province, la plus jeune des trois provinces des Prairies, comprend d'ailleurs le plus fort pourcentage de population en âge de travailler, soit 61,4 p. 100 des gens âgés de 20 à 64 ans. La diminution de la population de la Saskatchewan est la conséquence d'une migration nette vers d'autres provinces qui a dépassé le faible apport dû à l'accroissement naturel et à l'immigration internationale nette, tandis que l'Alberta, elle, a connu des hausses de ces trois composantes de la croissance démographique (*voir* le tableau 5). Les populations urbaines sont prédominantes dans les trois provinces, constituant de 64,3 p. 100 (en Saskatchewan) à 80,9 p. 100 (en Alberta) de la population totale (*voir* le tableau 6). En 2001, l'Alberta comptait le plus grand nombre d'Autochtones (168 000); ces derniers ne représentaient toutefois que 5,5 p. 100 de l'ensemble de sa population, soit un pourcentage inférieur à la proportion des Autochtones du Manitoba et de la Saskatchewan, où 14 p. 100 des habitants avaient des ancêtres autochtones.

a)



b)

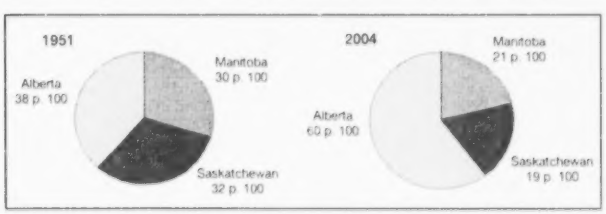


FIGURE 6 : Populations des provinces des Prairies : a) tendances, par province, de 1951 à 2001; et b) répartition relative, par province, en 1951 et en 2004 (*tiré de* Statistique Canada, 2005d).

TABLEAU 5 : Éléments du changement démographique de 2001 à 2004 (*tiré de* SaskTrends Monitor, 2005).

	Changement total en milliers de personnes (sur trois ans)				
Province	Croissance naturelle	Migration internationale nette	Migration interprovinciale nette	Total	Hausse annuelle moyenne (p.100)
Manitoba	11,7	16,6	-9,3	19,0	0,5 p.100
Saskatchewan	8,7	3,4	-16,9	-4,7	-0,2 p.100
Alberta	59,6	36,5	49,0	145,2	1,6 p.100

TABLEAU 6 : Populations urbaines et rurales dans les provinces des Prairies en 2001 (*tiré de* Statistique Canada, 2001a).

Province	Populations rurales	Populations urbaines
Alberta	19,1 p.100	80,9 p.100
Manitoba	28,1 p.100	71,9 p.100
Saskatchewan	35,7 p.100	64,3 p.100

2.2 ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES ET EMPLOI

En 2004, la région des Prairies a contribué au produit intérieur brut (PIB) du Canada par des activités à valeur ajoutée se chiffrant à 202 milliards de dollars. Cette même année, l'Alberta enregistrait le PIB par habitant le plus élevé, soit 41 952 $; celui de la Saskatchewan et du Manitoba était inférieur, se chiffrant à 33 282 $ et à 30 054 $ respectivement. La moyenne du PIB par habitant pour l'ensemble du Canada était de 40 386 $ en 2004.

Les secteurs des ressources primaires contribuent le plus au PIB de la région, puisqu'ils comptent pour environ 25 p. 100 de la valeur ajoutée totale (*voir* le tableau 7). Ces données correspondent toutefois à l'année 2001, une année de sécheresse pour la majeure partie de l'Alberta et de la Saskatchewan, où la contribution de l'agriculture s'est avérée plus faible que d'habitude. Bien que la nature des productions primaires diffère d'une province à l'autre (*voir* le tableau 7), les provinces des Prairies ont une dépendance commune envers la production de ressources primaires, plus particulièrement l'agriculture, l'exploitation forestière et l'exploitation minière, et elles n'ont que des secteurs manufacturiers de petite envergure en comparaison avec le reste du Canada. Le secteur des services représente la plus importante source d'emplois de la région et un élément de croissance majeur. Viennent ensuite le secteur du commerce, qui contribue pour environ 15 p. 100 au total des emplois, et le secteur des ressources primaires, avec seulement 11 p. 100 des emplois (*voir* la figure 7). Ce dernier secteur, en particulier l'agriculture, a été, par le passé, le principal employeur, mais les changements technologiques ont réduit la demande de main-d'œuvre.

Au Manitoba, la croissance de la population et de l'emploi a continué à augmenter au sein d'une économie diversifiée. En 2000, le secteur manufacturier a généré près de la moitié du PIB découlant des activités de toutes les industries de fabrication de biens. Le PIB du Manitoba a connu une croissance de 2,9 p. 100 en 2005, soit autant que celui de l'ensemble du Canada, et la croissance la plus prononcée depuis 2000. L'économie de la Saskatchewan montrait des signes prometteurs de diversification, bien que les secteurs de l'agriculture et des ressources y restent prédominants (Hirsch, 2005a). Les expéditions des industries manufacturières de cette province se sont accrues de 55 p. 100 au cours de la dernière décennie. L'économie y est axée sur les exportations, notamment les huiles de pétrole brutes, le chlorure de potassium, le blé de printemps, le blé dur et le canola. L'économie de l'Alberta a prospéré durant la dernière décennie, stimulée par les prix élevés du pétrole et du gaz naturel (Hirsch, 2005b). Parmi les autres secteurs économiques croissants de l'Alberta figurent l'industrie manufacturière, le domaine de la construction, les services et les finances publiques.

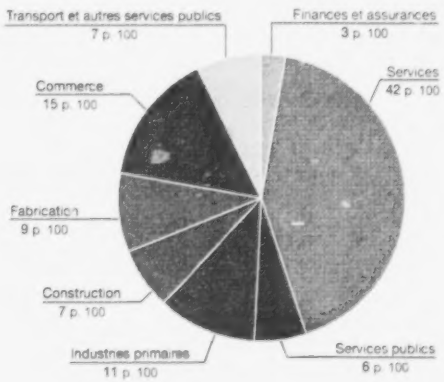


FIGURE 7 : Répartition des emplois dans les provinces des Prairies en 2001, par principaux groupes d'industrie (*tiré de* Statistique Canada, 2005d). Il est à noter que les industries primaires comprennent l'agriculture, les pêches, l'exploitation minière et l'industrie forestière.

TABLEAU 7 : Répartition du produit intérieur brut par type d'industrie en 2001 dans les provinces des Prairies (*tiré de* Statistique Canada, 2001a).

	Pourcentage du produit intérieur brut			
Type d'activité	Manitoba	Saskatchewan	Alberta	Prairies
Cultures et productions animales	3,5	3,9	1,4	2,1
Exploitation minière	1,8	17,9	26,5	21,5
Autres industries de production de produits primaires	0,3	0,4	0,2	0,3
Fabrication	13,6	7,9	9,1	9,6
Construction	4,6	5,9	7,5	6,8
Commerce	12,0	10,7	8,8	9,5
Services publics	14,1	11,2	9,2	10,0
Administration publique	18,8	17,4	10,2	12,6
Autres services	31,3	24,7	27,1	27,4
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

2.3 TENDANCES ET PROJECTIONS ÉCONOMIQUES ET SOCIALES

Des évaluations récentes du changement climatique régional réalisées dans divers pays (p. ex., Holman *et al.*, 2005a; Schröter *et al.*, 2005) ont montré que les scénarios socio-économiques sont souvent plus importants que les scénarios climatiques en ce qui a trait à l'évaluation des répercussions, en particulier lorsqu'il s'agit de déterminer les impacts économiques et la capacité d'adaptation (*voir* le chapitre 2 pour une discussion sur la capacité d'adaptation). Toutefois, la prévision des tendances économiques et sociales est problématique pour une région qui dépend des marchés d'exportation et se révèle aussi hétérogène que les provinces des Prairies.

Des tendances démographiques ont été établies pour la région (Azmier, 2002; Sauvé, 2003; Statistique Canada, 2005e, f, g). D'ici 2031, la population des provinces des Prairies pourrait atteindre sept millions d'habitants – soit une hausse de près de 30 p. 100. Cette croissance prévue varie de moins de 3 p. 100 en Saskatchewan à presque 40 p. 100 en Alberta (voir le tableau 8). L'accroissement prévu chez les Autochtones, les minorités visibles et les aînés sont au cœur des changements démographiques attendus au cours des prochaines décennies (Statistique Canada, 2005e, g).

C'est en Alberta, avec son économie florissante fondée sur l'énergie, qu'a eu lieu presque tout l'accroissement de la population de la région au cours des 50 dernières années (tel qu'illustré à la figure 6), et cette tendance se poursuivra probablement durant les 30 prochaines années (basée sur les données présentées au tableau 8). Le Manitoba et la Saskatchewan devront relever les défis associés à la croissance des grandes villes aux dépens des populations rurales. Au Manitoba, l'accroissement de la population urbaine viendra principalement de l'immigration (Azmier, 2002); en Saskatchewan, il sera dû en majeure partie à la croissance des populations autochtones. Parmi les tendances nouvelles, on observe des pénuries de travailleurs (Sauvé, 2003), problème que l'immigration serait en mesure d'atténuer quelque peu. Le changement survenu dans l'économie des Prairies au cours des dernières décennies a été suscité par les progrès des techniques d'exploitation des sables bitumineux, une amélioration de l'aménagement des forêts et de leur productivité, la croissance de l'industrie cinématographique, l'augmentation de la productivité agricole, l'adoption étendue des technologies informatiques, la consolidation de l'entreposage et de la production industrielle et l'augmentation du tourisme (Roach, 2005).

Selon ces tendances et prévisions, il est possible que les niveaux de vulnérabilité soient différents d'une province des Prairies à l'autre. On prévoit que la population et les richesses continueront d'être concentrées en Alberta, situation susceptible de laisser aux autres provinces relativement moins de ressources pour répondre à leurs besoins en matière d'adaptation. Les impacts du changement climatique se manifesteront de façon différente dans les régions et les secteurs en question, et agiront de concert avec une croissance économique inégale, ce qui suscitera des changements dans la population et constituera un fardeau plus lourd pour le tissu socio-économique de la région. La migration urbaine nuit à la viabilité des collectivités rurales, qui disposent ainsi de moins de ressources que les villes pour faire face au changement climatique et dépendent en outre davantage de ressources sensibles au climat, telles que l'agriculture et la foresterie.

2.4 CLIMAT DU PASSÉ

La plupart des enregistrements météorologiques relatifs aux provinces des Prairies couvrent une période inférieure à 110 ans. La perspective plus étendue que permettent les archives géologiques et biologiques fournit des informations sur la variabilité de basse fréquence (décennies ou davantage), sur les réactions graduelles au forçage climatique ainsi que sur un éventail de manifestations de la variabilité climatique plus étendu que celui

TABLEAU 8 : Croissance démographique prévue pour les provinces des Prairies et pour le Canada de 2005 à 2031 (*tiré de* Statistique Canada, 2005b).

		Population en 2031 (en milliers d'habitants)*					
Province / Région	Population (en milliers d'habitants) 2005	Faible croissance	Croissance moyenne (migration récente)	Croissance moyenne (migration moyenne)	Croissance moyenne (migration vers la côte ouest)	Croissance moyenne (migration vers le centre-ouest)	Croissance élevée
Manitoba	1 178	1 259	1 375	1 356	1 335	1 378	1 447
Saskatchewan	994	937	967	976	981	1 064	1 023
Alberta	3 257	3 925	4 391	4 145	3 892	4 543	4 403
Prairies	5 429	6 121	6 733	6 477	6 208	6 985	6 873
Canada	32 271	36 261	39 045	39 029	39 015	39 052	41 811
Prairies en pourcentage du Canada	17 p.100	17 p.100	17 p.100	17 p.100	16 p.100	18 p.100	16 p.100

qu'offrent les enregistrements climatologiques instrumentaux, et pourrait contribuer à la découverte éventuelle de climats passés analogues au climat futur. Dans les Prairies, les variations du climat se reflètent dans les changements subis par la végétation, dans les fluctuations du niveau et de la salinité des lacs, dans la configuration des anneaux de croissance des arbres (dendrochronologie) et dans l'âge et l'histoire des dunes (Lemmen et Vance, 1999). Les températures déduites à partir de trous de forage effectués dans les Plaines canadiennes (Majorowicz *et al.*, 2002) et des anneaux de croissance des arbres mesurés à des points élevés des Rocheuses (Luckman et Wilson, 2005) montrent que le climat le plus chaud du dernier millénaire a été enregistré au cours du XX^{e} siècle.

Les taux d'humidité dans le sol déduits à partir des anneaux de croissance des arbres et le taux de salinité déduit à partir des diatomées révèlent qu'au XX^{e} siècle le climat a été relativement favorable à la colonisation des prairies, car il ne comportait pas les sécheresses soutenues des siècles antérieurs, lesquelles influaient sur l'activité des dunes, le commerce des fourrures et la santé des populations autochtones (Sauchyn *et al.*, 2002a, 2003). La courte durée des sécheresses survenues depuis les années 1940 pourrait être davantage liée à une variabilité pluridécennale du climat qu'au changement climatique, dont on s'attend à ce qu'il entraînera une aridité accrue et des sécheresses plus fréquentes (Wetherald et Manabe, 1999; Kharin et Zwiers, 2000). Les données de haute résolution provenant des sédiments lacustres révèlent des changements pluricentennaux dans le régime d'humidité (Michels *et al.*, 2007), et les anneaux de croissance des arbres indiquent que l'ensemble de la région a connu des cycles pluridécennaux d'humidité et de sécheresse (St. George et Sauchyn, 2006; Watson et Luckman, 2006). Ces cycles naturels resteront sous-jacents à la tendance du changement climatique. Les enregistrements dendrochronologiques et d'archives provenant du Manitoba (Blair et Rannie, 1994; St. George et Nielsen, 2003; Rannie, 2006) ont mis en évidence le caractère récurrent des années humides et d'inondation ainsi qu'un contraste du climat entre l'ouest et l'est des Prairies.

On a enregistré une élévation moyenne de 1,6 °C au cours de la période des enregistrements instrumentaux effectués à 12 stations des Prairies, dont la plupart remontent jusqu'à 1895, (*voir* la figure 1). Le réchauffement le plus prononcé se manifeste au printemps, tendance qui s'étend du Manitoba jusqu'au nord de la Colombie-Britannique (Zhang *et al.*, 2000). Au cours des 50 dernières années, on a enregistré un réchauffement régional plus répandu, avec des tendances significatives en janvier, mars, avril et juin (Gan, 1998). Les données de précipitations révèlent une tendance générale à la baisse au cours des mois de novembre à février, tel que le démontrent les données mensuelles provenant de 37 stations dont 30 p. 100 ont enregistré une baisse importante au cours de la période de 1949 à 1989 (Gan, 1998). Une seule station parmi les 37 a enregistré une tendance à la hausse significative (Gan, 1998). Bien que le nombre de jours de précipitations se soit accru sur les Prairies canadiennes au cours des 75 dernières années (Akinremi *et al.*, 1999), la quantité totale de précipitations reçues durant plus de la moitié de ces journées était inférieure à 5 mm.

2.5 SCÉNARIOS DU CLIMAT À VENIR

Des scénarios climatiques ont été tirés d'expériences sur le changement climatique effectuées à l'aide de sept modèles de circulation générale (MCG) et du rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat *Special Report on Emissions Scenarios* (Nakićenović et Swart, 2000; *voir* le chapitre 2). Des cartes et des diagrammes de dispersion illustrent les scénarios de changement climatique modélisés à partir des années 1961 à 1990 jusqu'aux années 2020 (2010 à 2039), 2050 (2040 à 2069) et 2080 (2070 à 2099).

Diagrammes de dispersion

Les diagrammes de dispersion (*voir* l'annexe 1 du chapitre 2) établis pour les provinces des Prairies présentent les champs de changement moyennés sur deux régions : la zone de prairies, au sud, et la zone forestière, au nord. Les diagrammes montrent les changements modélisés de la précipitation et de la température annuelles moyennes (*voir* la figure 8a) et saisonnières (*voir* la figure 8b) dans la zone forestière et la zone de prairies pour les années 2020, 2050 et 2080.

À l'exception de quelques scénarios concernant les années 2020, tous les modèles ont prévu des climats qui sortent de la plage de la variabilité naturelle. Les scénarios de températures sont semblables dans le cas des régions forestières et de prairies, mais l'accroissement des précipitations est supérieur dans la zone forestière du nord. La dispersion des données augmente avec le temps, phénomène qui reflète le fait que la modélisation du changement climatique affiche plus d'incertitude à mesure que l'on progresse dans le XXI^{e} siècle. La majeure partie des hausses prévues des températures et des précipitations surviendront en hiver et au printemps, tant dans la zone forestière que dans celle des prairies.

Cartes des scénarios

Les cartes des scénarios présentent un résumé géographique des changements climatiques obtenus grâce aux MCG et illustrés par les diagrammes de dispersion (*voir* l'annexe 1 du chapitre 2). Les projections des changements minimums, moyennes et maximums des températures et des précipitations ont été inscrits sur la grille du deuxième modèle couplé canadien de circulation générale (MCCG2). Les scénarios de températures sont représentés à la figure 9a sous forme de cartes pour les années 2020, 2050 et 2080, et par saison, à la figure 10a, pour les années 2050; les scénarios des précipitations correspondants sont illustrés aux figures 9b et 10b. Outre qu'elles illustrent les scénarios extrêmes et les contrastes saisonniers, les cartes montrent que le plus fort réchauffement prévu devrait se produire dans le nord et dans l'est. Ces régions devraient aussi connaître les plus fortes augmentations de précipitations, tandis que les scénarios minimums (soit du pire cas possible) laissent prévoir des hausses inférieures, voire des baisses de précipitations en été, pour les zones de l'ouest et du sud.

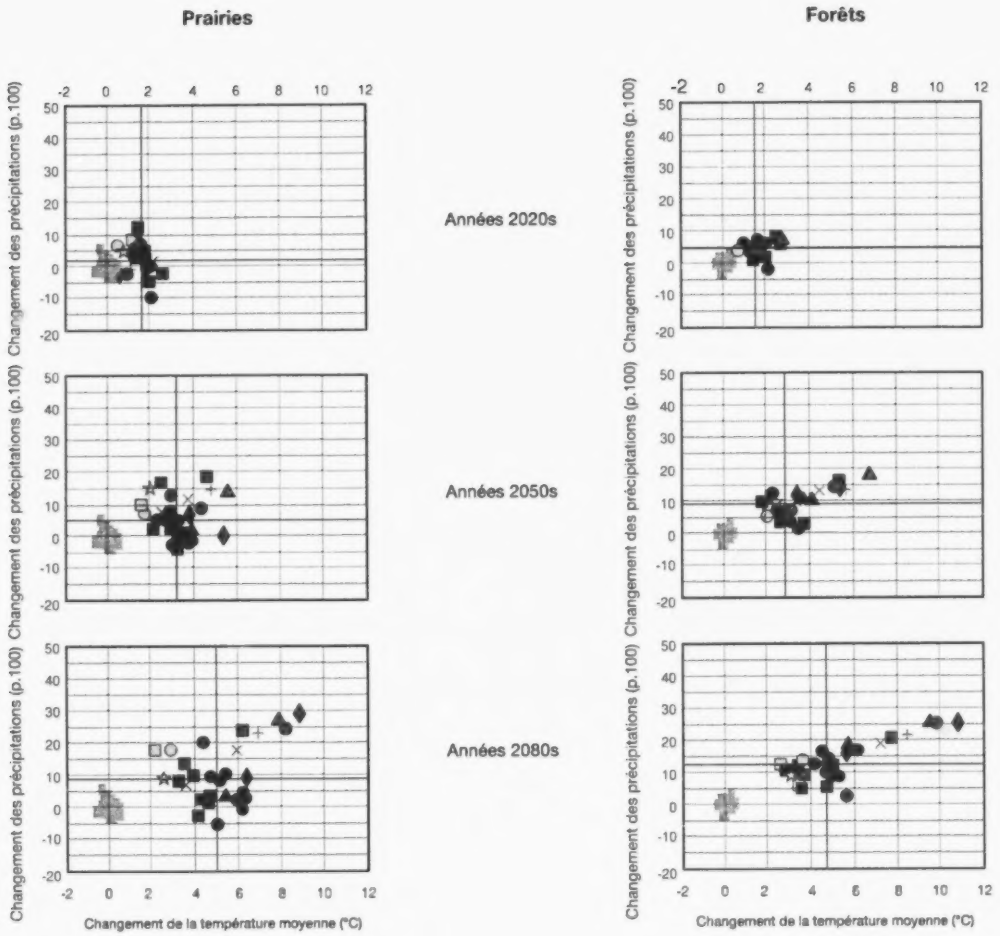


FIGURE 8a : Diagrammes de dispersion des changements prévus dans les régions de forêts et de prairies des provinces des Prairies pour les années 2020, 2050 et 2080 par rapport aux températures et précipitations annuelles moyennes. Les carrés gris indiquent la variabilité climatique « naturelle » simulée par une longue passe de contrôle du modèle couplé canadien sans changement du canadien de circulation générale (MCCG2), sans changement du forçage avec le temps. Les lignes bleues indiquent les changements moyens des températures et des précipitations moyennes, tels qu'établi à l'aide de la série de scénarios présentés sur le graphique.

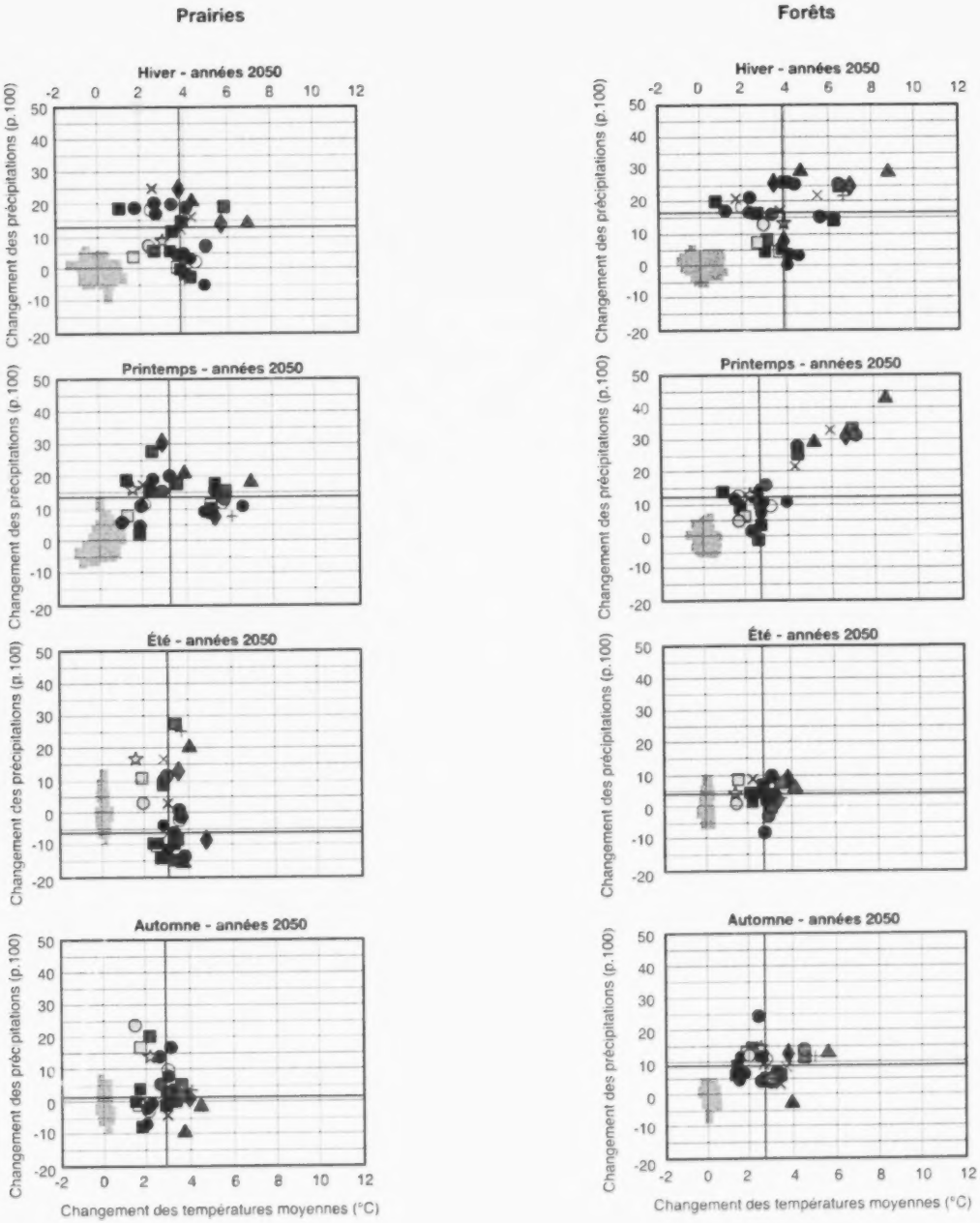


FIGURE 8b : Diagrammes de dispersion des changements prévus dans les régions de forêts et de prairies des provinces des Prairies pour les années 2050 par rapport aux températures et précipitations saisonnières annuelles. Les carrés gris indiquent la variabilité climatique « naturelle » simulée par une longue passe de contrôle du modèle couplé canadien de circulation générale (MCCG2), sans changement du forçage avec le temps. Les lignes bleues indiquent les changements moyens des températures et des précipitations moyennes, tels qu'établi à l'aide de la série de scénarios présentés sur le graphique.

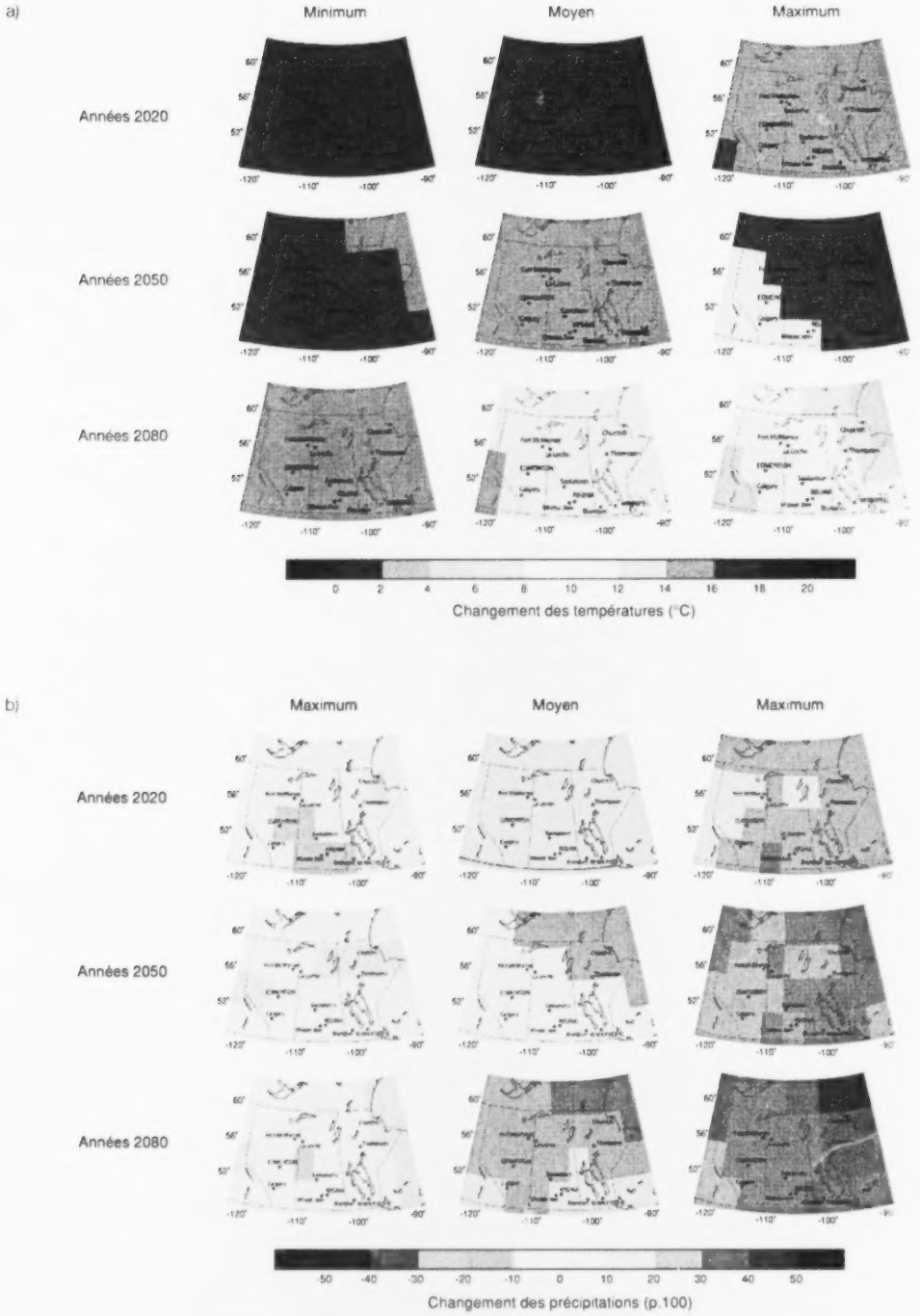


FIGURE 9 : Cartes des scénario de changement climatique pour les provinces des Prairies pour les années 2020, 2050 et 2080 indiquant les changements minimums, moyens et maximums prévus a) des températures annuelles moyennes et b) des précipitations annuelles moyennes. Il est à noter que les changements minimum et maximum correspondent respectivement au scénario le plus humide et le scénario le plus sec (*voir* l'annexe 1 au chapitre 2).

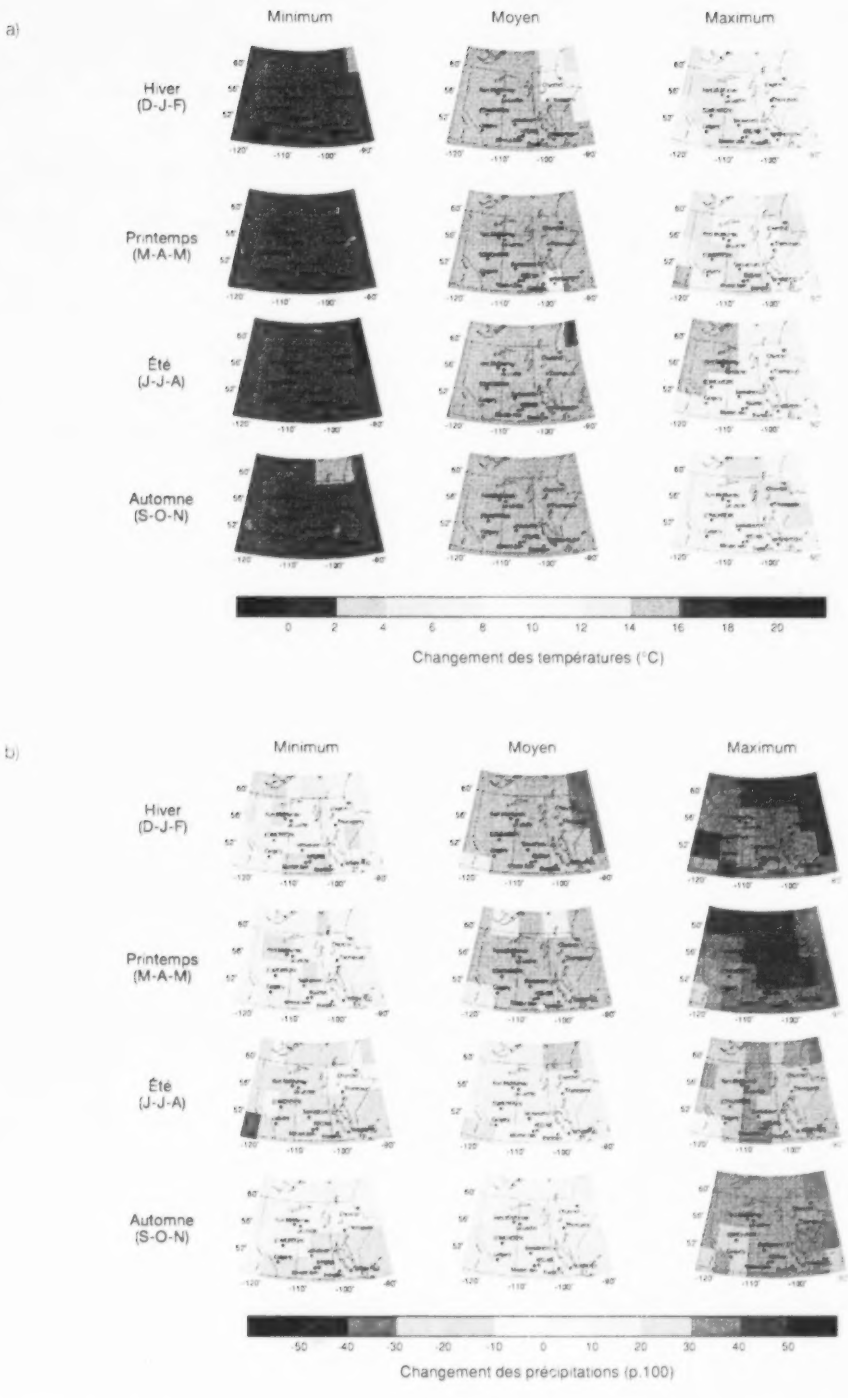


FIGURE 10 : Cartes des scénario de changement climatique pour les provinces des Prairies pour les années 2050 indiquant les changements minimums, moyens et maximums prévus a) des températures saisonnières moyennes et b) des précipitations saisonnières moyennes. Les lettres majuscules entre parenthèses apparaissant à la suite des saisons indiquent les mois en question. Il est à noter que les changements minimum et maximum correspondent respectivement au scénario le plus humide et le scénario le plus sec (*voir* l'annexe 1 au chapitre 2).

FIGURE 9 : Cartes des scénario de changement climatique pour les provinces des Prairies pour les années 2020, 2050 et 2080 indiquant les changements minimums, moyens et maximums prévus a) des températures annuelles moyennes et b) des précipitations annuelles moyennes. Il est à noter que les changements minimum et maximum correspondent respectivement au scénario le plus humide et le scénario le plus sec (voir l'annexe 1 au chapitre 2).

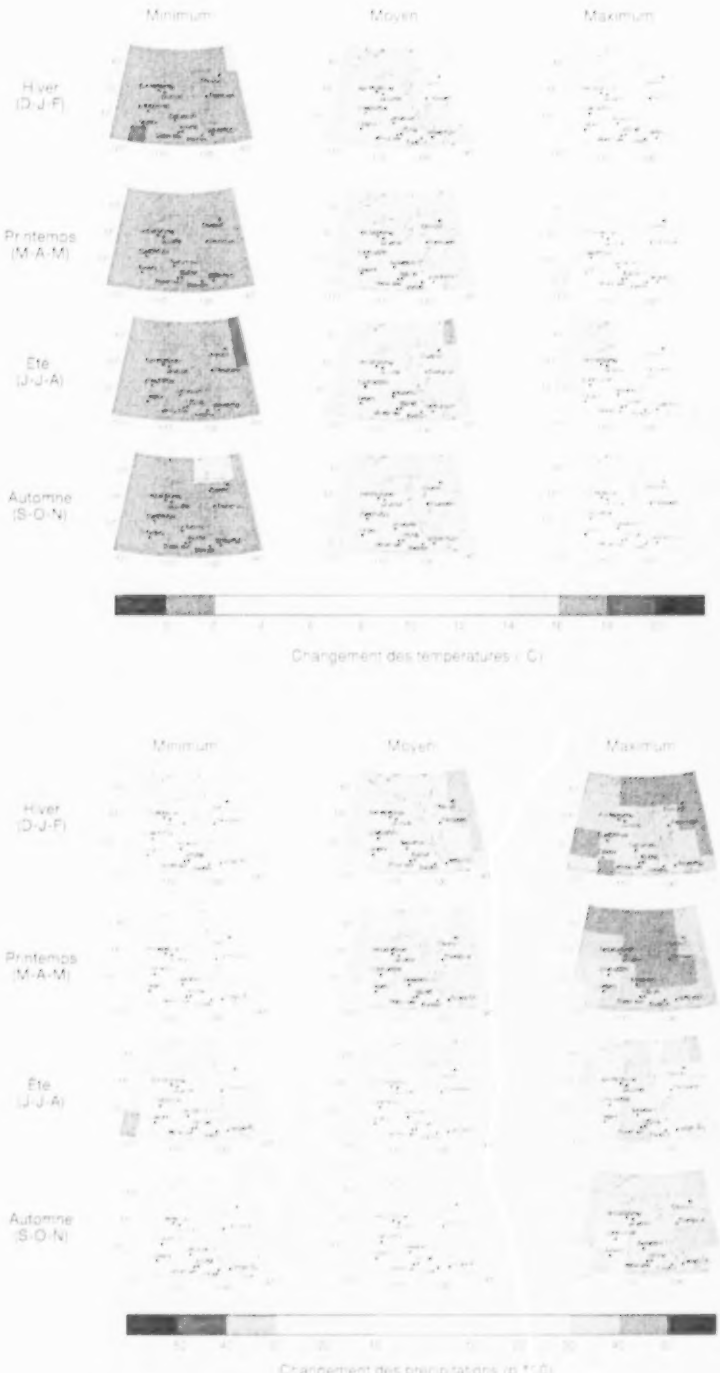


FIGURE 10 : Cartes des scénario de changement climatique pour les provinces des Prairies pour les années 2050 indiquant les changements minimums, moyens et maximums prévus a) des températures saisonnières moyennes et b) des précipitations saisonnières moyennes. Les lettres majuscules entre parenthèses apparaissant à la suite des saisons indiquent les mois en question. Il est à noter que les changements minimum et maximum correspondent respectivement au scénario le plus humide et le scénario le plus sec (voir l'annexe 1 au chapitre 2).

3 SENSIBILITÉS ET PRINCIPALES VULNÉRABILITÉS : CAPITAL NATUREL

3.1 RESSOURCES EN EAU

Le changement climatique est et continuera d'être reflété dans les principales variables qui régissent le cycle hydrologique : la température, l'évapotranspiration, les précipitations, la neige et la glace. La santé du milieu et les richesses naturelles des provinces des Prairies sont étroitement liées à la qualité et à la quantité des ressources en eau. Ces facteurs influent sur presque tous les aspects de la société : la santé et le bien-être, l'agriculture, la production d'aliments et la vie rurale, les villes et les infrastructures, la production et le coût de l'énergie, l'industrie forestière, les loisirs et d'autres secteurs. Certains des plus importants stress subis par la société dans les Prairies ont été directement liés à des extrêmes d'éléments hydrologiques du système.

Ressources en eau de surface

Les changements du régime de précipitations, de la température et de la durée de l'hiver auront des répercussions considérables sur les approvisionnements en eau de surface. Le réchauffement hivernal réduira les accumulations de neige dans les zones alpines (Leung et Ghan, 1999; Lapp *et al.*, 2005) et l'ensemble des Prairies. Ce réchauffement entraînera ainsi une diminution de l'écoulement fluvial annuel et avancera de façon remarquable le moment de survenue de cet écoulement durant l'année, phénomène qui se traduira par une diminution des apports en eau vers la fin de la saison. Le ruissellement des petits cours d'eau des prairies et des forêts-parcs provient presque exclusivement de la fonte de la neige accumulée sur les sols gelés (Byrne, 1989). La réduction des chutes de neige en hiver enregistrée durant la seconde moitié du XX^{e} siècle (Akinremi *et al.*, 1999) a contribué à la tendance à la baisse du débit que l'on a constatée. Il s'agit déjà d'un problème crucial pour de nombreuses rivières du sud des Prairies, telles que les rivières Bow, Oldman et Milk, particulièrement au cours des années sèches.

L'écoulement fluvial moyen mensuel relevé par 50 débitmètres dans les Prairies a affiché des tendances à la hausse en mars et des tendances à la baisse en automne au cours de la période s'étendant entre la fin des années 1940 et le début des années 1950 et en 1993 (Gan, 1998). La hausse des débits constatée en mars peut être attribuée à la fois à une augmentation des précipitations printanières sous forme de pluie et à une fonte des neiges précoce (Burn, 1994; Gan, 1998; Zhang *et al.*, 2001; Yue *et al.*, 2003). Burn (1994) a trouvé que 30 p. 100 des rivières non régularisées de l'ouest du Canada présentaient une tendance à un écoulement printanier précoce statistiquement significative vers les années 1990, les écoulements précoces les plus importants se manifestant dans les rivières situées à de plus hautes latitudes.

Le recul général des glaciers qui s'est produit au cours du dernier siècle a entraîné une diminution appréciable de l'écoulement estival et automnal; cet écoulement a eu un effet sur les rivières durant la période des débits d'étiage et de demande en eau maximale (Demuth et Pietroniro, 2003). La poursuite de ce recul accentuera les pénuries déjà manifestes au cours des années de sécheresse dans de nombreuses régions de l'Alberta et de la Saskatchewan. Demuth et Pietroniro (2003, p. iv) ont conclu que :

> *« La fiabilité de l'écoulement provenant des bassins du cours supérieur de la rivière Saskatchewan-Nord a diminué depuis le milieu des années 1990, et les régimes hydrologiques et écologiques qui dépendent du moment de survenue et de la quantité d'eau provenant de la fonte des glaciers subissent peut-être déjà les répercussions à moyen et à long termes du changement climatique discutées par le GIEC. »* [traduction]

Puisque les eaux du cours supérieur de la rivière Saskatchewan-Nord se situent à proximité de celles des systèmes des rivières Athabasca et Bow, les trois systèmes subissent probablement en ce moment les mêmes changements de débit et continueront à le faire dans l'avenir.

La plupart des scénarios prévoient des débits plus forts en hiver et au printemps, avec des précipitations plus abondantes, en particulier sous forme de pluie. Ils prévoient en outre, dans l'ensemble, des réductions de débit en été, saison où la demande d'eau de surface est la plus forte. Pietroniro *et al.* (2006) ont combiné des modèles hydrologiques avec des scénarios de changement climatique pour estimer certains changements annuels moyens des débits qui surviendront d'ici les années 2050 :

- Rivière Red Deer, à Bindloss : -13 p. 100
- Rivière Bow, à l'embouchure : -10 p. 100
- Rivière Oldman, à l'embouchure : -4 p. 100
- Rivière Saskatchewan-Sud, au lac Diefenbaker : -8,5 p. 100.

Ressources en eau souterraine

L'eau souterraine constitue la source d'eau potable pour environ 21 p. 100 des habitants du Manitoba, 23 p. 100 des Albertains et près de 43 p. 100 de la population de la Saskatchewan (Environnement Canada, 2004b). Les approvisionnements futurs en eau souterraine diminueront dans certaines régions, mais pourront augmenter dans d'autres, reflétant l'équilibre dynamique entre le taux d'alimentation, le ruissellement et le stockage de l'eau souterraine (Maathuis et Thorleifson, 2000; Chen *et al.*, 2002). L'augmentation des pluies au début du printemps et à la fin de l'automne améliorera le taux d'alimentation si les niveaux de l'eau dans le sol sont élevés; sinon, l'eau sera retenue dans le sol, de telle façon que l'écosystème et la productivité des récoltes puissent en bénéficier. L'assèchement des sols dû à l'augmentation du taux d'évapotranspiration entraîne une diminution du taux d'alimentation, à laquelle succéderait un abaissement lent mais régulier de la nappe phréatique dans de nombreuses régions. Lorsque les niveaux de l'eau souterraine baissent en raison d'un taux d'alimentation insuffisant, d'une sécheresse prolongée ou d'un pompage excessif, l'approvisionnement en eau et sa qualité s'en trouvent touchés. Cette situation s'est produite dans le centre de l'Alberta au cours de la sécheresse de 2001 à 2003, soit la sécheresse de longue durée la plus intense qui ait jamais été notée depuis que l'on a commencé à prendre des enregistrements (Kienzle, 2006). Une chute des niveaux de l'eau souterraine dans un aquifère carbonaté situé près de Winnipeg pourrait entraîner la salinisation

des puits et le déplacement vers l'est de la limite entre l'eau saline et l'eau douce en réaction au changement climatique (Chen *et al.*, 2002).

Demande d'eau

Les augmentations de la demande en eau rendront plus complexes les problèmes d'approvisionnement en cette ressource. L'importance de cette demande possible est clairement illustrée par les estimations suivantes, qui concernent le bassin de la rivière Saskatchewan-Sud (Alberta Environment, 2002, 2005, 2006) :

- La demande pour les activités autres que l'irrigation pourrait s'accroître de 35 p. 100 à 67 p. 100 d'ici 2021, et de 52 p. 100 à 136 p. 100 d'ici 2046.
- Il est possible que les districts d'irrigation subissent une expansion allant jusqu'à 10 p. 100 dans le bassin de la rivière Oldman et 20 p. 100 dans celui de la rivière Bow.
- On s'attend à ce que la population s'accroisse dans le bassin de la rivière Saskatchewan-Sud, passant de 1,3 million d'habitants en 1996 à plus de deux millions d'ici 2021, et à plus de trois millions d'ici 2046.
- Environ 65 p. 100 du débit moyen naturel de la rivière Oldman et de ses tributaires ont été attribués (Government of Alberta, 2006). De ces attributions, presque 90 p. 100 sont consacrées à la culture irriguée. On n'attribue plus, en Alberta, de nouveaux permis d'utilisation de l'eau dans les bassins des rivières Oldman et Bow et, ainsi, tout accroissement doit se faire en fonction d'attributions déjà en place.

Qualité de l'eau

Dans les provinces des Prairies, les écosystèmes aquatiques et les ressources en eau font face à diverses menaces en ce qui a trait à la qualité de l'eau, lesquelles se trouveront aggravées par le changement climatique. Il s'agit entre autres (Environnement Canada, 2001) :

- des perturbations physiques associées : 1) aux répercussions dues à l'utilisation des terres aux fins d'agriculture et d'exploitation forestière, 2) aux prélèvements d'eau par les villes, 3) aux effluents d'eaux usées et aux eaux pluviales et 4) aux effets des barrages et des dérivations;
- de la contamination chimique, notamment : 1) les polluants organiques persistants et le mercure, 2) les perturbateurs endocriniens, 3) les éléments nutritifs (azote et phosphore), 4) les écoulements urbains et les effluents d'eaux usées municipales et 5) l'acidification;
- de la contamination biologique, notamment par les pathogènes d'origine hydrique.

La réduction de l'écoulement fluvial due au réchauffement climatique aggravera ces répercussions. La capacité de dilution chutera probablement à mesure que les débits décroîtront et que la durée de séjour dans les lacs augmentera en conséquence. Les sécheresses pourraient entraîner une augmentation de l'érosion accrue des sols, tant sur les terres agricoles que dans les zones forestières incendiées. Cette érosion augmentera les charges de sédiments et d'éléments nutritifs dans les réseaux hydrographiques locaux, ce qui entraînera l'eutrophisation des plans d'eau et un accroissement de la charge en pathogènes des cours d'eau en été (Hyland *et al.*, 2003; Johnson *et al.*, 2003; Little *et al.*, 2003). Le Millenium Ecosystem Assessment (Évaluation des écosystèmes pour le millénaire; Millenium Ecosystem Assessment, 2005) a déterminé que les effets conjoints du changement climatique et de la suraccumulation d'éléments nutritifs constituaient la principale menace pour les agroécosystèmes en régime d'aridoculture. Il existe une corrélation entre l'envergure des proliférations massives d'algues dans le lac Winnipeg et des températures estivales plus élevées (McCullough, 2006). Or, puisque le bassin du lac Winnipeg englobe une grande partie de l'écozone des Prairies, le lac reçoit les eaux de ruissellement d'une large proportion des terres agricoles du Canada.

Répercussions des phénomènes hydrologiques extrêmes

Selon les quelques études qui ont porté sur les résultats des MCG prévoyant les valeurs extrêmes associées au climat futur (p. ex., Kharin et Zwiers, 2000), la probabilité des phénomènes extrêmes s'accroîtrait, notamment celle des inondations et des sécheresses graves. Les conditions tant récentes que préhistoriques de la zone intérieure de l'Ouest sembleraient également appuyer cette tendance à la hausse de la gravité des sécheresses. Récemment (depuis les années 1940), le climat a été caractérisé par des sécheresses graves (forts déficits en eau) et de durée relativement courte, par comparaison aux siècles précédents (*voir* la section 2.4; Sauchyn *et al.*, 2003). Les cycles climatiques naturels à la base du changement climatique comprennent des sécheresses beaucoup plus longues que celles du XX^{e} siècle (*voir* la section 2.4).

Dans les zones de forêt boréale et de taïga, la fréquence accrue des sécheresses, y compris des sécheresses pluriannuelles persistantes (Sauchyn *et al.*, 2003), entraînera une diminution du taux d'humidité du sol et une augmentation de l'étendue des incendies de forêt et de la superficie nette brûlée. Au cours des récentes sécheresses extrêmes, les sols organiques ont séché et brûlé avec les forêts, ce qui s'est traduit par une perte presque totale de la végétation et du couvert forestier et, ensuite, par une perte de la capacité du sol de stocker l'eau à ces endroits. Dans ces conditions, le ruissellement devient instantané et cause des inondations éclairs.

L'élévation des températures annuelles et saisonnières aggravera les conditions de sécheresse (Laprise *et al.*, 2003) mais, d'autre part, le réchauffement fait augmenter la probabilité d'épisodes de pluies extrêmes (Groisman *et al.*, 2005). Ces épisodes causent fréquemment des inondations locales ou régionales, à l'instar de celles qu'a subies le bassin de la rivière Saskatchewan-Sud en 1995 et en 2004. Ces événements, ainsi que d'autres inondations et sécheresses récentes énumérées ci-après, illustrent bien l'importance d'une gestion appropriée des ressources en eau, importance qui, d'ailleurs, devrait augmenter dans les années à venir :

- À Edmonton, un orage a déversé 150 mm de pluie en moins d'une heure sur la ville déjà saturée par des orages antérieurs. Les pertes ont été estimées à 175 millions de dollars (Environnement Canada, 2004a).
- Les enregistrements réalisés à l'aide d'instruments indiquent que, lors de la récente sécheresse soutenue de 2000-2003, on a constaté des précipitations totales très inférieures à celles qui avaient été enregistrées au milieu des années 1930 (Kienzle, 2006). Les sécheresses pluriannuelles sont à l'origine des plus sérieuses répercussions qui touchent aussi bien le niveau d'humidité du sol que le niveau d'eau souterraine.

- Environnement Canada (2004a) a qualifié la campagne agricole de 2002 de pire jamais connue par les agriculteurs de l'Ouest canadien.
- En 2001, le projet d'irrigation à partir de la rivière St. Mary, dans le sud de l'Alberta, n'a pas bénéficié de suffisamment d'eau pour honorer les attributions annuelles – seulement 60 p. 100 des attributions en eau des fermes ont été distribués.

Adaptation

L'adaptation aux changements de l'hydrologie dans les Prairies posera un défi, particulièrement là où les approvisionnements en eau actuels sont presque complètement assignés. La rareté future de l'eau pourrait causer l'abandon ou la sous-utilisation d'infrastructures importantes (canaux, canalisations, barrages et réservoirs) qui valent des millions de dollars. La croissance de la demande à cause du réchauffement du climat et la réduction de l'écoulement estival certaines années se traduiront par des demandes visant à augmenter le stockage et la dérivation de l'eau à partir des endroits qui accusent des surplus. Cependant, les réservoirs sont des sources de gaz à effet de serre (St. Louis *et al.*, 2000) et les barrages et ouvrages de dérivation sont responsables de répercussions environnementales bien documentées (Environnement Canada, 2001; Mailman *et al.*, 2006). On trouvera également une discussion de la capacité d'adaptation du secteur des ressources en eau à la section 5.1.1.

3.2 ÉCOSYSTÈMES

Dans le cadre d'une analyse globale, le changement climatique n'est dépassé en importance que par l'utilisation des terres en tant que facteur susceptible d'entraîner des changements de la biodiversité au cours du siècle en cours (Sala *et al.*, 2000). Le changement climatique modifiera les conditions environnementales à l'avantage de certaines espèces et au détriment d'autres, souvent avec des retombées économiques. Par exemple, à mesure que la végétation et les insectes changeront en réaction à l'évolution du climat, les activités de tourisme et de loisir, telles que l'observation des oiseaux, s'en trouveront touchées, et il faudra peut-être procéder à un ajustement des pratiques de gestion antiparasitaire à caractère agricole, forestier et urbain.

Biodiversité et productivité

Si aucune contrainte liée au taux d'humidité ou à d'autres facteurs ne se manifeste, la productivité des végétaux devrait augmenter, favorisée par l'allongement de la saison de croissance et par la hausse des températures. L'accroissement de l'activité photosynthétique enregistrée dans la majeure partie du Canada de 1981 à 1991 a été attribué aux saisons de croissance plus longues (Myneni *et al.*, 1997). Cependant, on détient peu de connaissances en ce qui a trait aux espèces ou assemblages d'espèces qui seront relativement avantagés ou désavantagés dans des écosystèmes disposant de moins en moins d'humidité. Les changements touchant le moment de survenue et l'intensité des épisodes de gel-dégel, les variations des températures diurnes (Gitay *et al.*, 2001) ainsi que les épisodes de tempêtes et de vents peuvent influer sur la répartition ou la survie de la végétation, en particulier celles des diverses espèces d'arbres (Macdonald *et al.*, 1998), mais on manque de précisions quant à la façon dont cela va se produire.

Des facteurs autres que la température et les précipitations influeront aussi sur les écosystèmes des Prairies. Par exemple, la fertilisation par le CO_2 accroît l'efficacité d'utilisation de l'eau par certaines espèces de végétaux (Lemon, 1983), bien qu'il subsiste de nombreux doutes quant à son effet global (Wheaton, 1997). Alors que des études ont signalé un effet positif de la fertilisation par le CO_2 sur la croissance de l'épinette blanche dans le sud-ouest du Manitoba (Wang *et al.*, 2006), des données obtenues par modélisation et à la suite d'une étude empirique (Gracia *et al.*, 2001) ont révélé que tout effet positif de la fertilisation par le CO_2 est neutralisé au sein d'un peuplement de conifères, parce que la croissance de ces derniers est sujette au taux d'humidité disponible. Il n'est pas encore possible de prévoir de façon globale les changements s'opérant au niveau de l'absorption et de l'accumulation du CO_2 selon une méthode qui serait indépendante des variations entre les espèces (Gitay *et al.*, 2001). L'un des problèmes majeurs associé à la prévision des répercussions de la fertilisation par le CO_2 sur une espèce donnée est que ces impacts s'exercent simultanément sur toute la végétation. Il ne suffit pas de connaître la réaction d'une espèce au CO_2, il faut plutôt connaître l'avantage relatif pour la croissance, s'il y en a un, acquis par toutes les espèces végétales qui sont en compétition pour les ressources d'un endroit donné.

Les niveaux de rayonnement ultraviolet-B et d'ozone troposphérique vont en augmentant, et l'on s'attend à ce qu'ils aient des effets désavantageux sur la végétation, voire à ce qu'ils annulent tout effet positif de la fertilisation par le CO_2 (Henderson *et al.*, 2002). En outre, les dépôts d'azote provenant de l'activité industrielle ont peut-être un effet sur la croissance des espèces et les interactions compétitives entre les espèces, même dans des endroits des Prairies qui se trouvent éloignés des centres industriels (Kochy et Wilson, 2001).

La transformation des régimes de perturbation des forêts qu'entraîne le changement climatique peut s'avérer suffisamment importante pour causer la modification des écosystèmes forestiers en place (Loehle et LeBlanc, 1996). Henderson *et al.* (2002) mentionnent deux voies de changement des forêts : 1) un déclin lent et cumulatif, ou 2) des pertes catastrophiques, comme celles causées par un incendie majeur. Les hausses des températures moyennes en hiver se traduiront par une meilleure survie des agents pathogènes pendant cette saison et par une augmentation de la gravité des maladies (Harvell *et al.*, 2002). Les sécheresses affaiblissent les défenses des arbres contre les agents pathogènes plus virulents (Saporta *et al.*, 1998). À mesure que les conditions deviendront plus xériques, la durée de vie des aiguilles de conifères raccourcira et, ainsi, le niveau de stress ressenti par ces derniers augmentera (Gracia *et al.*, 2002). On s'attend à ce que la forêt boréale soit touchée de façon importante par le changement climatique, plus particulièrement à sa limite sud (Herrington *et al.*, 1997; Henderson *et al.*, 2002; Carr *et al.*, 2004). Grâce à la modélisation des répercussions, on prévoit que, d'ici 2080, la forêt boréale de la Saskatchewan connaîtra des changements majeurs dans la représentation des espèces (selon le MCCG1 et le scénario d'émissions A1; Carr *et al.*, 2004).

Changements dans le moment de survenue des phénomènes biologiques

Les premiers colons et les peuples autochtones savaient que le moment où survenaient les phénomènes biologiques dépendait des saisons et des conditions météorologiques, et ils utilisaient ces signes indicateurs pour prévoir le moment et le succès des activités de plantation, de pêche et de chasse (Lantz et Turner, 2004). Les dates

et les taux de la floraison printanière de plantes sauvages très répandues font partie des événements les plus fiables que l'on puisse surveiller et utiliser comme indices des conditions météorologiques et du climat. Un programme baptisé « Plantwatch » a pour but de surveiller la phénologie de la floraison de plantes sauvages clés grâce aux rapports d'un réseau de bénévoles; ce programme est devenu un outil important de suivi des répercussions du changement climatique (Beaubien, 1997). Les dates de floraison de plantes vivaces clés de l'Alberta sont étroitement associées à la température moyenne enregistrée au cours des deux mois précédant l'efflorescence (Beaubien et Freeland, 2000). Au cours du dernier siècle, le début du printemps a déjà avancé de 26 jours par rapport au début du printemps enregistré antérieurement (Beaubien et Freeland, 2000). On a déterminé que l'indice de floraison printanière établi à partir des données du programme « Plantwatch » était corrélé aux températures de la surface de la mer dans le Pacifique, y compris aux épisodes El Niño.

Réaction des zones de végétation

Les modèles de zonation de la végétation ont établi que le changement climatique a entraîné une migration vers le nord de la limite entre la forêt et la prairie dans les provinces des Prairies (Hogg et Hurdle, 1995; Vandall *et al.*, 2006). On prévoit également que les prairies évolueront, les tremblaies et les prairies à fétuque de la bordure nord actuelle cédant la place à des variantes de la prairie mixte. Ces changements modélisés de la zonation ne précisent pas la composition future exacte de la végétation, en raison des retards dans la migration de certaines espèces. Cependant, les tendances suivantes sont prévues pour la période du moment actuel aux années 2050 (Vandall *et al.*, 2006) :

- Dans les régions forestières, on remarquera une réduction générale de la croissance des arbres, l'échec de la régénération au cours des années sèches, et une réduction graduelle du couvert forestier et une expansion des îlots de prairies.
- Dans la tremblaie, on remarquera une diminution de la taille des bosquets de trembles, une réduction de l'invasion des îlots de prairies par les arbustes et les pousses de peupliers et un rétrécissement du couvert arbustif.

On peut s'attendre à ce que les répercussions les plus importantes surviennent dans les zones de transition entre les prairies sèches et les prairies des contreforts, plus humides, ainsi qu'à la transition entre les forêts-parcs et les zones forestières.

Dans les prairies, la production est fonction du taux d'humidité disponible. Alors que le climat plus doux et plus sec prévu pour les provinces des Prairies semble indiquer une production et une capacité de pâturage à la baisse, il est probable que les changements réels seront modestes, étant donné l'allongement de la saison de croissance, la réduction de la compétition de la part des arbustes et des arbres, et l'augmentation de la quantité de graminées de saisons chaudes, ces dernières étant reconnues pour leur utilisation plus efficiente de l'eau (Thorpe *et al.*, 2004).

Les modèles de prévision des répercussions qui tiennent compte simplement de la position actuelle (statique) des écorégions (p. ex., Davis et Zabinski, 1992) prévoient des changements importants de la superficie et de la qualité des forêts boréales. D'autres modèles, basés sur la croissance des végétaux et la dynamique des populations, donneraient des prévisions plus robustes. Les extrémités nord de la forêt boréale remonteraient probablement avec le réchauffement climatique, mais le taux d'expansion de la forêt vers le nord est incertain; cette expansion prendra des décennies, car les arbres réagissent aux variations de la température du sol, à la présence de pergélisol ainsi qu'à la dispersion et à l'établissement incertains des graines (Lloyd, 2005). Il est probable qu'un changement connexe aura lieu à la limite sud de la forêt, mais il serait régi par l'effet des sécheresses et des grands incendies qui leur sont associés.

Il est difficile d'estimer le moment où surviendront ces changements écologiques, en partie en raison de l'incapacité actuelle à prévoir des seuils précis. La végétation réagit après qu'un changement climatique a eu lieu (adaptation autonome), et il est naturel pour un écosystème d'être « en retard » jusqu'à un certain point par rapport aux conditions environnementales, un phénomène que l'on qualifie d'« inertie écologique » (*voir* Henderson *et al.*, 2002). On trouve dans Anderson *et al.* (1997) une mise en garde au sujet des écosystèmes qui, selon eux, peuvent absorber des stress pendant de longues périodes avant de franchir un seuil critique, après quoi, la modification des écosystèmes et des paysages peut se faire très rapidement. Il est probable que l'effet du changement climatique sur les arbres matures ne sera pas décelable avant que des seuils biologiques ne soient atteints et qu'il en résulte un dessèchement des rameaux (Saporta *et al.*, 1998).

Le changement climatique sera important dans tous les parcs nationaux de prairies et de forêts-parcs (Elk Island, en Alberta, Prince-Albert, en Saskatchewan et Mont-Riding, au Manitoba) ainsi que dans le parc national Wood Buffalo, dans les Territoires-du-Nord-Ouest (Scott et Suffling, 2000). Dans ces parcs, on peut s'attendre à une augmentation de la fréquence et de l'intensité des feux de forêt, à un accroissement des épidémies de maladies des arbres forestiers et des infestations d'insectes, ainsi qu'à une augmentation de la surface couverte par les prairies et les forêts tempérées au détriment de la forêt boréale (de Groot *et al.*, 2002). Le changement climatique constitue « un défi sans précédent pour Parcs Canada », et les communautés écologiques actuelles commenceront à se dissocier et à former de nouveaux assemblages (Scott et Suffling, 2000). Henderson *et al.* (2002, p. 3) ont déclaré que, pour relever ce défi dans « un contexte de changement climatique mondial, il faudra peut-être, dans le choix des secteurs protégés, mettre l'accent sur l'hétérogénéité et la diversité des habitats des sites (car ils offrent une sorte de tampon contre les effets du changement climatique) plutôt que sur leur représentativité » (traduction). Par exemple, on peut toujours s'attendre à ce que les terrains élevés, tels que les paysages des monts Cypress, offrent une gamme d'habitats et d'écosystèmes différents des plaines avoisinantes et, donc, contribuent à la biodiversité, même si la nature de ces habitats et écosystèmes change avec le temps (*voir* l'étude de cas 1). Toutefois, un paysage de faible relief, comme celui du parc national de Prince-Albert, dont le but est de protéger la prairie à fétuque, la tremblaie et la forêt boréale du sud dans le réseau des parcs nationaux, ne réussira peut-être pas à protéger ces éléments de paysage avec le temps, tout comme le parc national de Wapusk, au Manitoba, ne parviendra peut-être pas à protéger l'habitat de l'ours blanc, ce qui est pourtant sa raison d'être.

Faune sauvage

La région de fondrières des prairies du centre de l'Amérique du Nord constitue l'habitat le plus productif du monde pour les oiseaux aquatiques, les Prairies canadiennes englobant les aires de reproduction de 50 p. 100 à 80 p. 100 de la population canadienne

de canards (Clair *et al.*, 1998). Une augmentation de l'aridité dans les prairies aura probablement un effet néfaste sur les populations migratrices d'oiseaux aquatiques (Poiani et Johnson, 1993) dont l'effectif diminuera en réaction aux sécheresses et aux pertes d'habitats (Bethke et Nudds, 1995). Les fluctuations des conditions météorologiques qui ont lieu durant la saison de reproduction comptent pour plus de 80 p. 100 dans la variation du taux de croissance des populations de colverts et d'autres canards (Hoekman *et al.*, 2002). Dans les régions nordiques, la disparition précoce de la neige et la hausse des températures moyennes ont rendu la nidification et l'éclosion des oies plus précoces (p. ex., LaRoe et Rusch, 1995).

Les habitudes migratoires et la taille des populations de faune sauvage ont été touchées par les récentes tendances du climat, et l'on s'attend à d'autres répercussions (Inkley *et al.*, 2004). Cet état de choses influera sur les industries fondées sur la chasse, les activités environnementales, la réglementation de la pêche et la production de poissons, et sur les modes de vie traditionnels tributaires de la biodiversité des vertébrés. Les animaux relativement sédentaires, comme les reptiles et les amphibiens, courent un plus grand risque de disparition que les oiseaux ou les papillons, comparativement mobiles. Les écosystèmes aquatiques subiront le stress de conditions plus chaudes et plus sèches, et un grand nombre d'espèces aquatiques des prairies courent le risque de disparaître (James *et al.*, 2001). De nombreuses espèces de poissons, par exemple, sont sensibles à de petits changements des régimes de température, de turbidité et de salinité ou à des concentrations d'oxygène. Pour les Prairies, on s'attend à des proliférations d'algues plus prononcées, à une eutrophisation accélérée et à des répercussions graves sur certaines espèces de poissons en raison de la combinaison des effets du changement climatique, de l'accroissement du lessivage des éléments nutritifs et des pressions dues à l'utilisation accrue des

ÉTUDE DE CAS 1

Répercussions du changement climatique sur les îlots de forêt des grandes plaines

On trouve, des plaines du centre de l'Alberta jusqu'au Texas, des îlots parsemés de forêts, refuges d'arbres et d'espèces dépendantes des arbres dans une mer de graminées. Henderson *et al.* (2002) ont examiné les répercussions que le changement climatique aura sur cinq de ces écosystèmes du sud des provinces des Prairies et des États adjacents du Dakota du Nord et du Montana : les monts Cypress, la forêt Spruce, les collines Turtle, le mont Moose et les collines Sweet Grass (*voir* la figure 11). Ces îlots de forêt ont une importance régionale considérable en termes de biodiversité, d'habitats de la faune, de pâturages et de sources de bois, et en tant que cours supérieurs de nombreuses rivières des prairies.

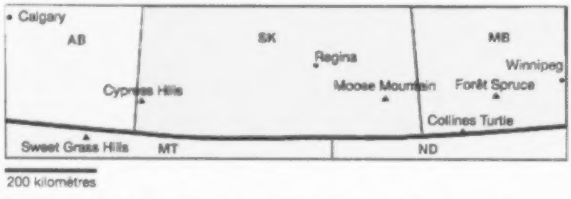


FIGURE 11 : Emplacement des sites d'étude des îlots de forêt.

Le changement climatique pose un risque pour les îlots de forêt des plaines. Ces derniers sont des écosystèmes marginaux ou écotones, à la limite entre les écosystèmes des prairies et les écosystèmes forestiers; ils sont, par conséquent, sensibles à de faibles changements dans les conditions environnementales. Comme il s'agit d'écosystèmes relativement petits, les îlots de forêt peuvent présenter une diversité génétique réduite et une vulnérabilité accrue aux perturbations catastrophiques, telles qu'un feu de friche, une infestation d'agents pathogènes ou une sécheresse grave.

Dans le cadre de l'étude, on s'est servi d'une gamme de scénarios climatiques dérivés de trois modèles de circulation générale (HadCM3, MCCG2 et CSIROMk2b) pour déterminer les futurs régimes d'humidité des cinq îlots de forêt et pour prendre en considération les conséquences de ces régimes sur les essences dominantes. Dans les plaines, une région toujours menacée par le stress d'une sécheresse, les niveaux d'humidité du sol représentent le paramètre individuel du changement climatique le plus important pour les écosystèmes naturels. La figure 12 montre l'effet net des changements modélisés des températures et des précipitations sur les niveaux d'humidité. La hausse des températures aura un puissant effet d'évaporation, de telle sorte que les bilans de l'humidité du sol décroîtront substantiellement.

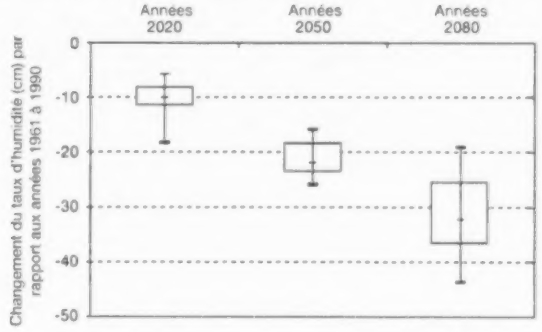


FIGURE 12 : Résumé des changements prévus du taux d'humidité du sol (moyenne établie relativement aux cinq sites d'étude des îlots de forêt) pour les années 2020, 2050 et 2080. Les lignes verticales minces du diagramme indiquent la gamme des taux d'humidité possibles comparée au climat de 1961 à 1990. Les carrés indiquent les gammes de taux d'humidité dans lesquelles se trouvent 50 p. 100 des prévisions du scénario. Le trait horizontal à l'intérieur de chaque carré représente le scénario de taux d'humidité médian.

Henderson *et al.* (2002) ont conclu que l'intégrité des écosystèmes des îlots de forêt sera gravement mise à l'épreuve. Il faudra probablement recourir à un aménagement très intensif pour y préserver certains types de couverts forestiers. Les mesures de gestion qui visent simplement à maintenir la végétation existante ou à rétablir les conditions historiques de répartition de la végétation et d'écosystèmes seront vouées à l'échec à mesure que le climat s'écartera de plus en plus des normales récentes et actuelles. Parmi les mesures d'adaptation possibles figurent la protection des forêts par le maintien de la diversité des âges de peuplement, une réaction énergique aux infestations d'agents pathogènes la régénération active de la forêt à l'aide d'essences présentes ou étrangères mieux adaptées aux nouveaux paramètres climatiques.

réseaux hydrographiques naturels par l'homme (Schindler et Donahue, 2006).

Adaptation

Les politiques de conservation peuvent viser soit à accroître l'inertie écologique, soit à la laisser intacte, soit à la réduire (Henderson *et al.*, 2002). Les associations végétales, déjà les espèces les plus « en harmonie » avec l'évolution du climat, nécessiteront le moins de mesures d'intervention humaine. Par contre, pour survivre, les ensembles de végétaux qui s'écartent de leurs niches climatiques naturelles exigeront une intervention humaine et un aménagement de plus en plus intensifs et actifs. Toutefois, au prix d'une importante intervention humaine, il sera possible en certains endroits de maintenir une végétation (et la faune qui l'accompagne) qui, autrement, disparaîtrait très certainement.

L'une des méthodes fréquemment proposées pour faire face au changement climatique est d'accroître la connectivité entre des aires protégées afin de faciliter la migration des populations de certaines espèces (p. ex., Malcolm et Markham, 2000; James *et al.*, 2001; Joyce *et al.*, 2001). Même si certaines espèces réussiront peut-être à migrer, d'autres seront menacées par l'arrivée de nouveaux compétiteurs ou par des agents pathogènes qui auront bénéficié de cette connectivité accrue. Ainsi, l'accroissement de la connectivité peut aussi accélérer le déclin de certains écosystèmes en favorisant les invasions d'espèces exotiques.

L'introduction volontaire d'une espèce indigène dans une zone voisine peut également constituer un outil utile d'adaptation au changement climatique, tout en étant moins susceptible de perturber l'écologie que l'introduction d'espèces exotiques eurasiennes (Thorpe *et al.*, 2001). Cependant, les arbres les plus résistants à la sécheresse qui pourraient survivre dans le nord des plaines proviennent d'Asie centrale (Henderson *et al.*, 2002). Les conifères de l'Ouest, tels que le douglas vert et le pin ponderosa, et les feuillus du sud des Prairies, comme l'érable à feuilles composées et le frêne vert, s'adapteraient peut-être bien aux futurs climats de l'écozone boréale ouest (Thorpe *et al.*, 2006). Par ailleurs, on s'attend à ce que les espèces boréales indigènes migrent vers le nord et diminuent en nombre dans les franges sud de leur territoire actuel.

En écologie de restauration, « on suppose souvent qu'une végétation de sous-étage s'établira avec le temps (« plantons des arbres, et le reste suivra »), mais le repeuplement naturel ne ramènera peut-être pas automatiquement les espèces souhaitées » (Frelich et Puettmann, 1999 [traduction]). Cependant, on ne connaît que peu de choses au sujet de l'introduction d'espèces d'arbres exotiques dans les forêts des Prairies, et pratiquement rien sur les introductions aux étages moyens et aux sous-étages. Les gestionnaires de la biodiversité doivent se considérer non pas comme des praticiens de la préservation, mais comme des « écologistes créateurs », car les paysages antérieurs ne peuvent plus être ciblés efficacement. Plusieurs options s'offrent à l'humanité, mais le passé n'en est pas une. Les écosystèmes qui résulteront du changement climatique dans les provinces des Prairies seront sans précédent.

3.3 PÉDOPAYSAGES

Les montagnes Rocheuses de l'ouest de l'Alberta et les terres sèches de l'écozone des Prairies sont des paysages très dynamiques et actifs. Les processus géologiques catastrophiques et dangereux associés aux phénomènes climatiques extrêmes se manifestent communément sur les longues pentes abruptes de la Cordillère canadienne. Par exemple, en août 1999, une coulée de débris survenue au ruisseau Five-Mile, dans le parc national de Banff, a bloqué l'autoroute transcanadienne pendant plusieurs jours durant le pic de la saison touristique (Evans, 2002). Ces événements sont presque toujours déclenchés par des pluies excessives ou par le ruissellement dû à une fonte rapide de la neige ou de la glace. Il est probable que les coulées de débris, les avalanches de pierres, les inondations subites et les glissements de terrain se feront plus fréquents, étant donné les tendances actuelles et projetées de l'hydrologie et du climat, qui incluent une augmentation des chutes de pluie, particulièrement en hiver, une fonte des neiges précoce et le recul des glaciers (Evans et Clague, 1994, 1997). Ces changements influeront sur la sécurité publique et sur l'entretien des infrastructures, surtout compte tenu de l'augmentation des activités de loisirs et du développement résidentiel dans les Rocheuses. À plus long terme, si le réchauffement et les sécheresses s'accentuent et si les glaciers disparaissent complètement, il pourrait en résulter un ralentissement des phénomènes catastrophiques, mais la dégradation du pergélisol pourrait faire croître pendant de nombreuses décennies les glissements de pente dans les endroits élevés (Evans et Clague, 1997).

Dans la majeure partie des provinces des Prairies, la couche sous-jacente est formée de sédiments peu consolidés qui s'érodent et cèdent là où ils sont exposés aux forces du vent, de l'eau et de la gravité exercées sur les parois des vallées et où l'agriculture ou l'aridité limitent le couvert végétal. Les paysages les plus actifs sont les champs de dunes et les vallées fluviales (Lemmen *et al.*, 1998), qui sont sensibles aux variations et aux extrêmes de l'hydrologie et du climat (Lemmen et Vance, 1999). L'augmentation prévue des sécheresses et de l'aridité se traduira probablement par une généralisation de l'érosion éolienne et par une augmentation de l'activité des dunes (Wolfe et Nickling, 1997). L'activité actuelle des dunes au centre aride de l'écorégion des prairies mixtes peut constituer un analogue de la réaction potentielle des champs de dunes, pour le moment stables, qui se trouvent aux limites plus humides de l'écozone des Prairies et du sud des plaines boréales (Wolfe et Nickling, 1997). Les évaluations de la végétation et de l'humidité du sol réalisées à l'aide de modèles (Thorpe *et al.*, 2001) semblent indiquer que l'évolution de la végétation se fera sous forme de prairies plus ouvertes, accompagnée d'une augmentation possible de l'activité dunaire. Dans les endroits les plus secs, le climat pourrait dépasser les seuils applicables aux crêtes des dunes actives, ce qui exigerait une gestion proactive de l'utilisation des terres et une application stricte des lignes directrices et de la réglementation en vigueur pour limiter l'activité dunaire. Les pentes et les lits des cours d'eau exposés à des pluies moins fréquentes mais plus intenses seront également sujets à une augmentation de l'érosion et à des glissements de pentes faibles, en raison du fait que le couvert végétal protecteur subira les effets de ces sécheresses prolongées (Sauchyn, 1998; Ashmore et Church, 2001).

La modification de 90 p. 100 de l'écozone des Prairies à des fins d'agriculture a entraîné l'exposition de dizaines de millions d'hectares aux effets de l'érosion. L'ordre de grandeur des pertes de sol annuelles sur les terres agricoles est de deux à trois fois plus élevé que sur les parcours naturels (Coote, 1983). L'érosion éolienne et l'érosion hydrique sont épisodiques; un seul épisode peut enlever plusieurs centimètres de terre végétale, détruisant ainsi des siècles ou des millénaires de pédogenèse et compromettant sérieusement la fertilité naturelle des terres agricoles. L'écorégion des prairies mixtes

de caractère semi-aride à subhumide, d'une superficie d'environ 200 000 km², court le risque de se transformer en désert. Les répercussions des activités humaines sur le sol des prairies sont réduites par l'exercice de mesures de conservation des sols, mais elles peuvent être aggravées par des facteurs sociaux et économiques, dont la perte de l'importance nationale du secteur de l'agriculture des Prairies depuis les années 1960, l'influence croissante des forces du marché mondial et des sociétés multinationales, la baisse des populations rurales et la réduction de l'appui à la recherche agricole, à l'atténuation des crises agricoles, aux programmes de soutien du revenu et de soutien au transport du grain (Knutilla, 2003).

Bien qu'il ne soit pas facile de prévoir l'avenir sur les plans social et économique (*voir* la section 2.3), on peut obtenir, grâce aux MCG, des prévisions de l'aridité future. D'après l'indice d'aridité, soit le rapport des précipitations à l'évapotranspiration potentielle (P/EVP), calculé pour 1961 à 1990 et pour les années 2050 à l'aide des résultats du MCCG2 et du scénario d'émissions B2, la superficie des terres menacées de désertification (P/EVP < 0,65; Middleton et Thomas, 1992) a augmenté de près de 50 p. 100 entre ces deux périodes (Sauchyn *et al.*, 2005). Selon les diagrammes de dispersion du climat futur (*voir* la figure 8), les points de ce scénario se situeraient au-dessus de la courbe de température médiane et en dessous de celle des précipitations médianes; ce scénario prévoit donc un climat modérément doux et sec. En raison de la grande variabilité interannuelle du climat des Prairies, la tendance à un accroissement de l'aridité prendra la forme de sécheresses plus fréquentes ou plus soutenues que durant les années intermédiaires d'humidité normale ou supérieure à la normale. Il est probable que, durant les sécheresses prolongées, les seuils minimums d'humidité du sol seront dépassés, de telle sorte que les paysages seront plus vulnérables aux perturbations et risqueront de subir la désertification (Administration du rétablissement agricole des Prairies, 2000).

4 RISQUES ET POSSIBILITÉS : SECTEURS SOCIO-ÉCONOMIQUES

4.1 AGRICULTURE

> *« Extrêmement importante pour l'économie canadienne, l'agriculture est naturellement sensible aux conditions climatiques. »* (Lemmen et Warren, 2004, p. xii)

> *« Les conditions météorologiques touchent la production agricole davantage que toute autre production. »* (Stroh Consulting, 2005 [traduction])

Répercussions biophysiques et adaptation

Dans les provinces des Prairies, l'agriculture pourrait bénéficier de plusieurs aspects du réchauffement climatique selon la vitesse et l'ordre de grandeur de ce dernier, et sa capacité à s'y adapter (*voir* le tableau 9). Des saisons de croissance plus chaudes et plus longues, et des hivers plus doux pourraient être avantageux. La hausse de la température aura un effet positif sur la croissance et le rendement des cultures jusqu'à ce que certains seuils soient atteints. Comme les producteurs agricoles jouissent d'une forte faculté d'adaptation, ils devraient pouvoir tirer profit de ces changements positifs. Par contre, des changements du régime de précipitations, l'augmentation du risque de sécheresses et des ravageurs qui l'accompagnent, ainsi que des taux d'humidité excessifs peuvent entraîner des situations fâcheuses (*voir* le tableau 9). Il sera plus difficile de s'adapter aux menaces et aux possibilités nouvelles, notamment l'augmentation de la probabilité des sécheresses dans les régions où le gel ou l'excès d'humidité constituent actuellement de plus grands dangers, car les habitants de ces régions sont moins habitués à faire face aux sécheresses.

Depuis de nombreuses années, on se sert des projections du changement climatique pour faire fonctionner des modèles de rendement des cultures (p. ex., Williams *et al.*, 1988). Cependant, ces évaluations produisent une vaste gamme de résultats selon les scénarios climatiques et les modèles d'impacts utilisés, l'échelle d'application et les hypothèses émises (p. ex., Wall *et al.*, 2004), et dans quelle mesure on a réussi à leur intégrer le concept de l'adaptation. L'une des plus importantes répercussions du changement climatique concerne les changements de la disponibilité de l'eau aux fins d'agriculture. Tous les types d'agriculture dépendent de la disponibilité d'une quantité suffisante d'eau de qualité au moment opportun. Au Canada, c'est le secteur agricole qui, à 71 p. 100, est le plus grand consommateur net d'eau (*voir* l'étude de cas 2; Harker *et al.*, 2004; Marsalek *et al.*, 2004;). L'utilisation de l'eau par le secteur agricole est en croissance constante depuis 1972, et cette tendance se maintiendra probablement (Coote et Gregorich, 2000). Dans les Prairies, tant la culture sous irrigation que l'élevage extensif sont limités par la disponibilité de l'eau (Miller *et al.*, 2000), particulièrement au cours des années de sécheresse (Wheaton *et al.*, 2005a). Par exemple, les animaux exigent plus d'eau lorsqu'ils subissent un stress thermique, et le stress d'origine hydrique pendant des stades critiques (p. ex., durant la floraison) est particulièrement néfaste pour les plantes. L'Alberta compte environ 60 p. 100 des terres agricoles irriguées du pays (Harker *et al.*, 2004) et, en 2001, plus de 67 p. 100 des exploitations canadiennes de bovins d'élevage et laitiers, de porcs, de volailles et d'autre bétail se trouvaient dans les Prairies (Beaulieu et Bedard, 2003). Les populations de bovins et de porcs ont augmenté constamment au cours des dix dernières années (Statistique Canada, 2005c), et l'on s'attend à ce que la demande d'eau destinée à l'irrigation et au bétail augmente avec les températures à la hausse et l'expansion de ces secteurs.

L'irrigation constitue la principale mesure d'adaptation du secteur agricole aux déficits annuels en eau du sol (*voir* l'étude de cas 2) et l'adoption de techniques efficientes au cours des dernières décennies a accru spectaculairement l'efficacité de l'irrigation à la ferme. Toutefois, la perte constante d'eau due à l'évaporation, aux fuites et à d'autres facteurs dans les réservoirs d'irrigation et les systèmes d'irrigation à fossés ouverts confirme qu'il faudra apporter d'autres améliorations à la gestion de ressources en eau limitées. Des publications récentes (p. ex., Irrigation Water Management Study Committee, 2002) révèlent que les bassins des rivières Oldman et Bow pourraient soutenir une augmentation de l'irrigation de l'ordre de 10 p. 100 et de 20 p. 100, respectivement. Cependant, comme le changement climatique entraîne des réductions de débits (*voir* la section 3.1) et des augmentations de la demande en eau pour les

ÉTUDE DE CAS 2

Adaptation du secteur agricole à l'aide de l'irrigation

L'irrigation est la méthode d'adaptation privilégiée du secteur agricole dans les environnements arides. Elle réduit les effets des sécheresses et les autres risques pour les fermes, permet une plus grande diversité des cultures, accroît les marges bénéficiaires et améliore la durabilité à long terme des petites exploitations agricoles. La culture sous irrigation est de loin le plus grand utilisateur d'eau des Prairies, et les plus petites améliorations de son efficacité font économiser des quantités considérables d'eau. Les Prairies englobent près de 75 p. 100 des terres irriguées du Canada; la Saskatchewan en renferme 11 p. 100, et plus de 60 p. 100 se trouvent dans le sud de l'Alberta (Irrigation Water Management Study Committee, 2002). On a recours à l'irrigation sur 4 p. 100 des terres cultivées dans les districts d'irrigation du sud de l'Alberta, où la production représente 18,4 p. 100 du produit intérieur brut agroalimentaire de la province, ce qui dépasse de 250 p. 100 à 300 p. 100 la productivité de l'aridoculture. De grandes industries de transformation des aliments ont vu le jour dans le sud de l'Alberta, où la saison de croissance plus longue, le nombre de degrés-jours élevé et l'approvisionnement en eau relativement sûr provenant principalement de la fonte des neiges dans les Rocheuses permettent de produire des cultures spécialisées (pommes de terre, haricots et betteraves à sucre).

Les progrès des buses d'irrigation à pivot central, y compris l'irrigation des coins de champs et les dispositifs à faible pression, ont beaucoup amélioré l'efficacité et l'efficience des systèmes d'irrigation. Grâce aux économies de main-d'œuvre et à la capacité d'irriguer les terrains vallonnés et les terres situées « au-dessus des fossés », la superficie irriguée en Alberta a plus que doublé depuis 1970. En 2006, l'infrastructure d'irrigation comprenait 7 796 km d'ouvrages de transport de l'eau (fossés et canalisations) et 49 réservoirs. Les réservoirs en dérivation comblent les variations saisonnières de l'approvisionnement et de la demande en eau, mais ils ne sont pas aussi efficaces que les réservoirs installés sur le cours d'eau pour répondre aux besoins en débits minimums et de répartition. Les coûts des immobilisations de la distribution de l'eau sont considérables. Par exemple, le coût estimatif d'un plan de distribution de l'eau dans l'est de l'Alberta se chiffrait à 168 millions de dollars pour des canalisations, des fossés et des réservoirs destinés à dynamiser l'une des régions les plus arides de la province (Special Areas Board, 2005). Ce projet a eu pour avantage net de permettre le développement de 8 000 à 12 000 hectares (20 000 à 30 000 acres) de terres irriguées – un investissement de 15 000 $ à 20 000 $ par hectare.

Une étude des besoins et des possibilités d'irrigation a été mise en œuvre en 1996 par l'Alberta Irrigation Projects Association (AIPA), qui représente les 13 districts d'irrigation de la province, par la direction chargée de l'irrigation du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et du Développement rural de l'Alberta (Alberta Agricultural, Food and Rural Development), et par l'Administration du rétablissement agricole des Prairies (ARAP), d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Le rapport sur le projet, intitulé *Irrigation in the 21st Century*, comporte les principales conclusions suivantes :

- L'évolution vers un accroissement de la production de fourrage pour l'industrie de l'élevage et l'augmentation de la superficie consacrée aux cultures spécialisées destinées à la transformation à forte valeur ajoutée entraîneront une légère hausse des besoins en eau, comparativement aux besoins propres au mélange de cultures actuel.
- L'efficacité de l'application à la ferme, c'est-à-dire le rapport entre la quantité d'eau d'irrigation appliquée et retenue dans la rhizosphère et la quantité totale d'eau d'irrigation livrée au réseau de la ferme, a augmenté, passant d'environ 60 p. 100 en 1990 à près de 71 p. 100 en 1999. Grâce aux nouvelles technologies, cette efficacité pourrait approcher 78 p. 100, bien que, pour l'avenir prévisible, une efficacité d'application à la ferme de 75 p. 100 soit considérée comme un objectif raisonnable aux fins de la planification.
- Des systèmes d'irrigation de surface bien de niveau et bien conçus peuvent atteindre une efficacité de 75 p. 100, tandis que les systèmes de conception médiocre et mal gérés peuvent se situer à moins de 60 p. 100. Les gicleurs à faible pression dirigés vers le bas permettent à l'efficacité d'atteindre entre 75 p. 100 et 90 p. 100.
- On estime que les pertes d'eau par évaporation dans les fossés et les réservoirs représentent environ 4 p. 100 des volumes attribués sous licence. Les pertes par évaporation ont été réduites grâce à l'installation de canalisations. Alors que les nouveaux réservoirs de stockage permettent une amélioration considérable des opérations dans les districts d'irrigation et une réduction des écoulements de retour, ces réservoirs sont eux-mêmes des utilisateurs d'eau, et l'on devrait tenir compte de cette utilisation lors de la prise de décisions concernant la conception de nouveaux systèmes de stockage. La préférence devrait être accordée aux stockages efficaces qui portent au maximum la capacité de stockage par unité de surface.
- Le niveau d'utilisation avec prélèvement est, en moyenne, de 84 p. 100 du niveau requis pour obtenir des rendements optimums des cultures. On s'attend à ce que le degré de gestion de l'eau destinée aux cultures augmente dans l'avenir, étant donné :
  - la transition continue des méthodes d'irrigation de surface à des méthodes faisant appel à des gicleurs;
  - l'évolution des types de cultures irriguées, des céréales aux cultures spécialisées de plus grande valeur;
  - l'accroissement progressif de la formation et de l'éducation des agriculteurs qui ont recours à l'irrigation quant aux techniques de gestion plus poussées de l'eau destinée aux cultures et à leurs avantages;
  - la poursuite des améliorations en matière de techniques aptes à permettre l'établissement d'un calendrier d'irrigation et l'adoption générale de leur utilisation;
  - la poursuite de l'amélioration de la conception des systèmes d'irrigation à la ferme.

L'étude de l'AIPA était basée sur la simulation des effets des variables de la demande de gestion de l'eau à l'échelle des fermes et des districts sur la demande brute d'irrigation globale ainsi que sur la capacité des réseaux hydrographiques d'y répondre. On a procédé à des modélisations concernant le débit et les conditions climatiques dans le réseau du bassin de la Saskatchewan-Sud pour la période allant de 1928 à 1995. Même si l'on a connu des déficits de l'apport en eau de plus en plus importants, de plus en plus fréquents et de plus en plus longs en raison de l'augmentation de la demande en irrigation, il serait possible de maintenir la durabilité économique des entreprises agricoles en améliorant l'efficacité d'utilisation de l'eau et en augmentant les applications d'eau à la ferme. Cet aspect s'avère particulièrement important dans le cas des exploitations qui peuvent transférer l'eau de cultures de moindre valeur à des cultures de plus grande valeur durant les années de déficit en eau.

Des gains importants de l'efficacité de l'application à la ferme ont été réalisés grâce à l'évolution des méthodes d'irrigation et aux progrès accomplis dans le domaine de la technologie des systèmes. L'amélioration de la gestion des méthodes d'irrigation à la ferme permettra à l'avenir des applications d'eau susceptibles d'atteindre jusqu'à 90 p. 100 du niveau optimal d'utilisation de l'eau destinée aux cultures, tel que requis par les types de cultures et les pratiques culturales du sud de l'Alberta. La perte d'eau dans les réservoirs et les systèmes à fossés ouverts est encore importante à cause de l'évaporation et des fuites, par exemple, et elle nécessitera une gestion encore meilleure des ressources en eau limitées.

Même si les institutions, dans les districts d'irrigation et les organismes gouvernementaux, ne tiennent pas compte explicitement du changement climatique et de l'adaptation, tout semble indiquer que des irrigateurs individuels envisagent d'appliquer des mesures d'adaptation et d'accroître l'efficacité de l'irrigation (*voir* la section 5). En effet, certains d'entre eux ont proposé « des solutions de rechange aux barrages coûteux et délicats, du point de vue de l'environnement, en encourageant le recours à un examen de la possibilité de stocker l'eau à la ferme, en particulier dans les coins des terres irriguées à l'aide de systèmes à pivot » (Kent Bullock, gestionnaire de district, district d'irrigation de Taber, communication personnelle, 14 novembre 2006 [traduction]). Ce stockage additionnel pourrait fournir un appoint d'eau au début et à la fin de la saison de culture, le cas échéant.

TABLEAU 9 : Changements possibles de l'agroclimat de la région agricole des provinces des Prairies, et exemples d'avantages et de désavantages éventuels pour l'agriculture.

Indice	Changements (par rapport à la période 1961-1990, sauf indication contraire)	Modèles climatiques et scénarios d'émission	Période et tendances spatiales	Référence	Avantages possibles pour l'agriculture[1]	Désavantages possibles pour l'agriculture[1]
Indices thermiques						
Degrés-jours de croissance	25 à 40 p. 100 42 à 45 p. 100	CSIROMk2b BII, changements supérieurs avec les autres mo-dèles MCCG1 GA1	Années 2050 Changements supérieurs dans le nord Années 2050 pour Lethbridge et Yorkton	Thorpe *et al.* (2004) CCIS[2] (2002)	Plus de choix de cultures; plus de récoltes par année; récoltes de meilleure qualité; évolution vers une saison de croissance	Vitesse de maturation accélérée et rendements inférieurs; activité accrue des insectes; changement dans l'efficacité des herbicides et pesticides
Degrés-jours de chauffage	-23 p. 100	MCCG1 GA1	Années 2050 pour Lethbridge et Yorkton	CCIS[2] (2002)	Coûts de chauffage réduits	
Degrés-jours de climatisation	146 à 218 p.100	MCCG1 GA1	Années 2050 pour Lethbridge et Yorkton	CCIS[2] (2002)		Ventilation accrue pour les étables; plus d'abris frais et de climatisation
Vagues de chaleur : Températures maximums à récurrence de 20 ans	Hausse de 1 à 2 °C	MCCG2 A2	2050	Kharin et Zwiers (2005)		Stress thermique pour les plantes et les animaux; le taux de transpiration accru pourra faire baisser les rendements; besoin accru en eau de refroidissement et en eau potable
Vagues de froid : températures minimums à récurrence de 20 ans	Hausse de 2 à >4 °C par rapport à 2000	MCCG2 A2	2050	Kharin et Zwiers (2005)	Réduction du stress thermique touchant les animaux	Augmentation des ravageurs et des maladies; augmentations potentielles de la destruction due à l'hiver
Indices d'humidité :						
Capacité en eau du sol (fraction), annuelle	>0 à <-0,2 assèchement surtout	MCCG2 A2 moyenne d'ensemble	Années 2050, diminutions les plus grandes dans le sud et le sud-est	Barrow *et al.* (2004)		Augmentation du stress dû à l'humidité pour les cultures; diminution de la disponibilité de l'eau
Indice Palmer de gravité de sécheresse	Sécheresses graves deux fois plus fréquentes	Goddard Institute for Space Studies	CO_2 doublé dans le sud de la Saskatchewan	Williams *et al.* (1988)		Augmentation des dommages et des pertes dus aux sécheresses; coûts d'adaptation accrus, etc.
Déficit en humidité : précipitations annuelles moins l'évapotranspiration potentielle (P/ÉP)	-60 mm à -140 mm (c.-à-d. déficit accru de 0 à -75 mm)	MCCG1 et HadCM3 MCCG1 GA1	Années 2050 Années 2050	Gameda *et al.* (2005) Nyirfa et Harron (2001)	Comme pour les sécheresses Comme ci-dessus	Comme pour les sécheresses Comme ci-dessus
Indice d'aridité (IA) : rapport de précipitations annuelles à l'évapotranspiration potentielle (P/ÉP)	Augmentation de 50 p.100 de la superficie où l'IA<0,65	MCCG2 B2	Années 2050	Sauchyn *et al.* (2005)	Comme ci-dessus	Comme ci-dessus

Notes : [1] La plupart des avantages et des désavantages sont résumés d'après Wheaton (2004).
[2] Projet Climate Change Impacts Scenarios (CCIS).

TABLEAU 9 : (Suite et fin)

Indice	Changements (par rapport à la période 1961-1990, sauf indication contraire)	Modèles climatiques et scénarios d'émission	Période et tendances spatiales	Référence	Avantages possibles pour l'agriculture[1]	Désavantages possibles pour l'agriculture[1]
Nombre de jours secs : période entre deux jours de pluie consécutifs (>1 mm)	Changements modestes et négligeables	MCCG2 A2	2080 à 2100	Kharin et Zwiers (2000)		
Nombre de jours de pluie	Changements modestes et négligeables	MCCG2 A2	2080 à 2100	Kharin et Zwiers (2000)		
Précipitations extrêmes : période de récurrence de 20 ans des précipitations annuelles extrêmes	Augmentation de 5 à 10 mm et diminution de la période de récurrence par un facteur de 2	MCCG2 A2	Années 2050	Kharin et Zwiers (2005)		Inondations plus nombreuses et érosion plus importante; planification des extrêmes plus difficile
Couverture de neige	Réductions générales	MCCG2 IS92a	50 à 100 prochaines années	Brown (2006)	Moins de déneigement; saison de pâturage accrue	Quantité et qualité réduites des approvisionnements en eau
Autres indices						
Vitesse du vent, annuelle	<5 à >10 p. 100	MCCG2 A2 moyenne d'ensemble	Années 2050	Barrow *et al.* (2004)	Dispersion accrue de la pollution atmosphérique	Érosion accrue des sols exposés; dommages aux plantes et aux animaux
Érosion éolienne des sols	16 p. 100	Manabe et Stouffer	CO_2 doublé	Williams et Wheaton (1998)		
	-15 p. 100	Institute for Space Studies	CO_2 doublé			
Rayonnement solaire incident	<-2 à <-6 W/m^2	MCCG2 A2 moyenne d'ensemble	Années 2050; diminutions supérieures dans le centre-nord	Barrow *et al.* (2004)	La diminution du rayonnement peut compenser partiellement le stress thermique	Croissance réduite des plantes si des seuils sont dépassés
Indice de rigueur du climat[3]	-3 à -9	MCCG1 IS92a	Années 2050; plus grandes améliorations en Alberta et au Manitoba	Barrow *et al.* (2004)		Climat moins rigoureux pour les travaux à l'extérieur; plus acceptable pour les animaux
Dioxyde de carbone	Divers scénarios d'émission ont été utilisés, (p. ex., 1 p. 100 par année)	IS92a		Leggett *et al.* (1992)	Productivité accrue des plantes en fonction d'autres facteurs	Réduction possible de la qualité des récoltes

Notes : [3] L'indice de rigueur du climat (IRC) est une mesure annuelle de l'effet du climat sur le confort et le bien-être des humains et des risques que présente le climat pour la santé et la vie des humains; son échelle va de 0 à 100 (Barrow *et al.*, 2004); un IRC plus élevé indique un climat plus rigoureux. Les facteurs de calcul de cet indice sont pondérés également entre les facteurs d'inconfort hivernal et estival et des facteurs d'ordre psychologique liés aux dangers ainsi qu'à la mobilité extérieure.

cultures (en raison de la hausse de l'évapotranspiration et de l'allongement des saisons de croissance), on s'attend à ce que ces bassins connaissent de graves pénuries d'eau, compte tenu du système d'irrigation en place. La mesure dans laquelle la hausse des concentrations de CO_2 dans l'atmosphère améliorera l'efficacité d'utilisation de l'eau par les plantes est incertaine et dépend des cultures, des éléments nutritifs et de la disponibilité de l'eau (Van de Geijn et Goudriaan, 1996) ainsi que d'autres facteurs (*voir* la section 3.2). L'utilisation de types de cultures plus tolérants aux sécheresses est une mesure d'adaptation courante.

Évaluation économique

Les résultats d'études des répercussions économiques du changement climatique sur l'agriculture des Prairies sont très variables d'une région et d'une étude à l'autre. Certaines études semblent indiquer que les conséquences économiques globales seront négatives mais faibles (Arthur, 1988), et d'autres, qu'elles seront positives et importantes (Weber et Hauer, 2003). Il a été prouvé que le Manitoba, la province qui connaît le plus faible déficit en eau, bénéficiera du réchauffement, car les producteurs adopteront des cultures de plus grande valeur, tendance susceptible d'entraîner une hausse de plus de 50 p. 100 de la marge bénéficiaire brute (Mooney et Arthur, 1990). Alors que des répercussions principalement fâcheuses ont été au départ prévues pour la Saskatchewan (Williams *et al.*, 1988; Van Kooten, 1992), cette conclusion a été mise en doute à la suite d'études réalisées aux États-Unis sur des régions limitrophes des Prairies qui, elles, prévoient des avantages pour l'agriculture découlant de l'allongement des saisons de croissance et de la hausse des températures (Bloomfield et Tubiello, 2000). De même, dans des études faisant appel à une approche fondée sur la valeur des terres (Weber et Hauer, 2003), on estime qu'il y aura des répercussions favorables sur l'agriculture des Prairies, avec des gains moyens de la valeur des terres se chiffrant à 1 551 $ par hectare, soit une hausse d'environ 200 p. 100 par rapport aux valeurs de 1995. Ces valeurs sont régies par l'allongement de la saison de croissance et la production de cultures de plus grande valeur.

Les trois grandes limites des indications dont on dispose quant aux répercussions économiques du changement climatique sur l'agriculture sont les suivantes :

- La plupart des études des impacts économiques ne tiennent pas compte des effets des phénomènes climatiques extrêmes, tels que les sécheresses et les inondations, qui peuvent être dévastateurs pour l'économie régionale (*voir* l'étude de cas 3; Wheaton *et al.*, 2005a, b).
- Dans de nombreuses études, on n'utilise pas d'approches intégrées, telles que les modèles bioéconomiques, pour estimer les impacts économiques du changement climatique sur l'agriculture des Prairies. Il faudra procéder à des évaluations socio-économico-biophysiques plus intégrées des répercussions du changement climatique. On trouvera à la figure 13 une méthodologie conceptuelle pour ce genre d'analyse.
- Très peu d'études se penchent sur la production animale. Le changement climatique entraînera à la fois des pertes et des gains économiques pour le secteur de l'élevage. Les pertes découleront du stress dû à la chaleur que subira le bétail et de l'incidence de maladies et de ravageurs nouveaux, alors que les gains attendus proviendront de l'amélioration de l'efficience alimentaire dans un climat plus doux.

Les répercussions économiques nettes sur le secteur agricole dans la région des Prairies subiraient également l'effet des liens commerciaux à l'intérieur du Canada et avec l'étranger (*voir* le chapitre 9). Par exemple, la position du Canada au chapitre de la production et du commerce du blé et du maïs-grain pourrait s'améliorer par rapport au reste du monde (*voir* le chapitre 9; Smit, 1989); notamment, la production canadienne de blé pourrait s'accroître de 4,5 p. 100 à 20 p. 100 (Reilly, 2002).

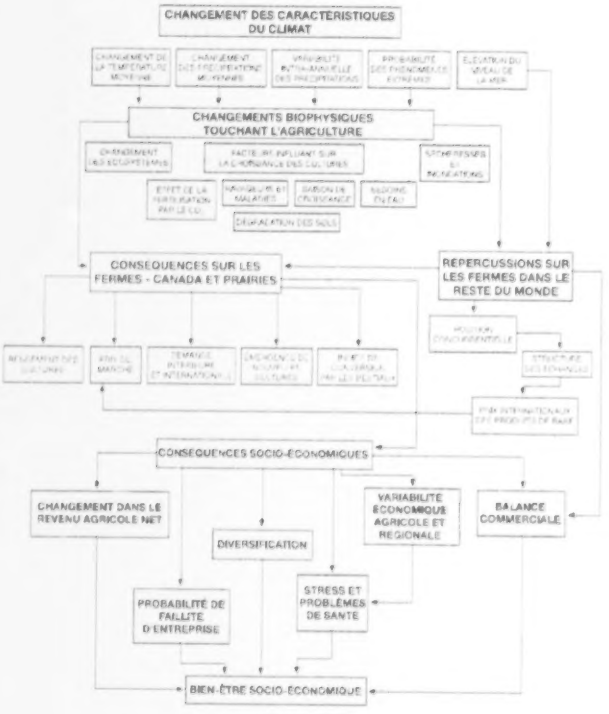


FIGURE 13 : Interactions entre le changement climatique et les répercussions socio-économiques liées à l'agriculture.

cultures (en raison de la hausse de l'évapotranspiration et de l'allongement des saisons de croissance), on s'attend à ce que ces bassins connaissent de graves pénuries d'eau, compte tenu du système d'irrigation en place. La mesure dans laquelle la hausse des concentrations de CO_2 dans l'atmosphère améliorera l'efficacité d'utilisation de l'eau par les plantes est incertaine et dépend des cultures, des éléments nutritifs et de la disponibilité de l'eau (Van de Geijn et Goudriaan, 1996) ainsi que d'autres facteurs (*voir* la section 3.2). L'utilisation de types de cultures plus tolérants aux sécheresses est une mesure d'adaptation courante.

Évaluation économique

Les résultats d'études des répercussions économiques du changement climatique sur l'agriculture des Prairies sont très variables d'une région et d'une étude à l'autre. Certaines études semblent indiquer que les conséquences économiques globales seront négatives mais faibles (Arthur, 1988), et d'autres, qu'elles seront positives et importantes (Weber et Hauer, 2003). Il a été projeté que le Manitoba, la province qui connaît le plus faible déficit en eau, bénéficiera du réchauffement, car les producteurs adopteront des cultures de plus grande valeur, tendance susceptible d'entraîner une hausse de plus de 50 p. 100 de la marge bénéficiaire brute (Mooney et Arthur, 1990). Alors que des répercussions principalement fâcheuses ont été au départ prévues pour la Saskatchewan (Williams *et al.*, 1988; Van Kooten, 1992), cette conclusion a été mise en doute à la suite d'études réalisées aux États-Unis sur des régions limitrophes des Prairies qui, elles, prévoient des avantages pour l'agriculture découlant de l'allongement des saisons de croissance et de la hausse des températures (Bloomfield et Tubiello, 2000). De même, dans des études faisant appel à une approche fondée sur la valeur des terres (Weber et Hauer, 2003), on estime qu'il y aura des répercussions favorables sur l'agriculture des Prairies, avec des gains moyens de la valeur des terres se chiffrant à 1 551 $ par hectare, soit une hausse d'environ 200 p. 100 par rapport aux valeurs de 1995. Ces valeurs sont régies par l'allongement de la saison de croissance et la production de cultures de plus grande valeur.

Les trois grandes limites des indications dont on dispose quant aux répercussions économiques du changement climatique sur l'agriculture sont les suivantes :

- La plupart des études des impacts économiques ne tiennent pas compte des effets des phénomènes climatiques extrêmes, tels que les sécheresses et les inondations, qui peuvent être dévastateurs pour l'économie régionale (*voir* l'étude de cas 3; Wheaton *et al.*, 2005a, b).
- Dans de nombreuses études, on n'utilise pas d'approches intégrées, telles que les modèles bioéconomiques, pour estimer les impacts économiques du changement climatique sur l'agriculture des Prairies. Il faudra procéder à des évaluations socio-économico-biophysiques plus intégrées des répercussions du changement climatique. On trouvera à la figure 13 une méthodologie conceptuelle pour ce genre d'analyse.
- Très peu d'études se penchent sur la production animale. Le changement climatique entraînera à la fois des pertes et des gains économiques pour le secteur de l'élevage. Les pertes découleront du stress dû à la chaleur que subira le bétail et de l'incidence de maladies et de ravageurs nouveaux, alors que les gains attendus proviendront de l'amélioration de l'efficience alimentaire dans un climat plus doux.

Les répercussions économiques nettes sur le secteur agricole dans la région des Prairies subiraient également l'effet des liens commerciaux à l'intérieur du Canada et avec l'étranger (*voir* le chapitre 9). Par exemple, la position du Canada au chapitre de la production et du commerce du blé et du maïs-grain pourrait s'améliorer par rapport au reste du monde (*voir* le chapitre 9; Smit, 1989); notamment, la production canadienne de blé pourrait s'accroître de 4,5 p. 100 à 20 p. 100 (Reilly, 2002).

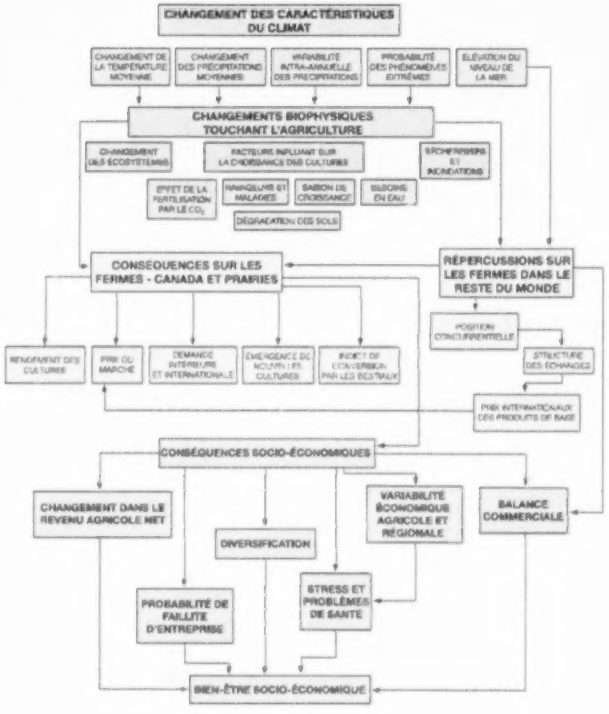


FIGURE 13 : Interactions entre le changement climatique et les répercussions socio-économiques liées à l'agriculture.

ÉTUDE DE CAS 3

Sécheresses de 2001 et 2002 dans les Prairies

Les sécheresses ont des répercussions importantes sur l'économie, l'environnement, la santé et la société. Celles de 2001 et 2002, qui ont apporté dans certaines régions du Canada des conditions qui n'avaient pas été constatées depuis au moins un siècle, n'ont pas fait exception. En règle générale, au Canada, les sécheresses ne touchent qu'une ou deux régions, durent relativement peu de temps (une ou deux saisons) et n'influent que sur un petit nombre de secteurs économiques. En revanche, celles des années 2001 et 2002 ont touché de vastes superficies, ont duré longtemps et ont eu des répercussions substantielles sur de nombreux secteurs économiques. Elles ont été parmi les premières sécheresses pancanadiennes jamais enregistrées et ont frappé des régions qui sont moins habituées à faire face à la rareté de l'eau. Bien que d'envergure nationale, ces sécheresses étaient cependant concentrées dans l'Ouest, la Saskatchewan et l'Alberta étant les provinces les plus touchées (Wheaton *et al.*, 2005a, b).

Les répercussions des sécheresses ont été étendues, notamment :

- La production agricole a baissé d'une valeur estimative de 3,6 milliards de dollars au cours des années de sécheresse 2001 et 2002, la chute la plus imposante étant celle de 2002, qui a atteint plus de 2 milliards de dollars.
- Le produit intérieur brut a été réduit de 5,8 milliards de dollars au cours de 2001 et 2002, avec, encore une fois, une perte supérieure en 2002, c'est-à-dire de 3,6 milliards de dollars.
- Les pertes d'emplois ont dépassé 41 000, dont près de 24 000 en 2002.
- Les chutes de production ont été dévastatrices à l'échelle du pays pour un grand nombre de cultures. En Alberta, la perte de production s'est chiffrée à 413 millions de dollars en 2001, et à 1,33 milliard de dollars en 2002. La valeur estimative de la diminution des récoltes en Saskatchewan a été de 925 millions de dollars en 2001, et de 1,49 milliard de dollars en 2002.
- En 2002, le revenu agricole net a été négatif en Saskatchewan et nul en Alberta.
- Des épisodes d'érosion éolienne grave ont été enregistrés, malgré les améliorations apportées par le travail de conservation du sol.
- Les productions animales ont connu des périodes particulièrement difficiles en raison de la rareté générale des aliments pour animaux et de l'eau.
- Des approvisionnements en eau qui étaient auparavant fiables n'ont pas réussi à répondre aux besoins dans certaines régions et ont nécessité de nombreux projets d'adaptation, de la réparation de barrages, d'étangs-réservoirs et de puits existants à la construction de nouveaux étangs-réservoirs et puits. Le bétail a été abattu ou transporté vers des zones où le fourrage et l'eau étaient plus accessibles. Les collectivités ont eu besoin d'un complément d'eau provenant de diverses sources. Ces adaptations ont entraîné des coûts supplémentaires pour les collectivités ainsi que des pertes de récoltes et de bétail.
- On a constaté une réduction notable de la croissance des forêts de peupliers et un dépérissement général des peupliers et d'autres espèces d'arbres dans les régions les plus touchées par la sécheresse dans l'ouest du Canada. Les bouleaux, frênes et autres espèces d'arbres plantés dans les zones urbaines, comme Edmonton, ont également été sérieusement touchés (Hogg *et al.*, 2006). Les peupliers ont subi un effondrement majeur de leur productivité au cours de cette sécheresse (Hogg *et al.*, 2005).
- Des effets multisectoriels ont été enregistrés, et des répercussions sur la production agricole et le secteur de la transformation, sur les approvisionnements en eau, les loisirs, le tourisme, la santé, la production d'énergie hydroélectrique et les transports ont été documentées.
- Parmi les répercussions à long terme, il y a eu des dommages causés aux sols et d'autres dommages dus à l'érosion éolienne et à la détérioration des prairies.

Plusieurs programmes gouvernementaux d'intervention et de protection du revenu, ainsi que d'autres mesures d'adaptation, dont certaines coûteuses et perturbatrices, ont compensé partiellement les répercussions socioéconomiques néfastes des années de sécheresse 2001 et 2002. Un bon nombre de mesures d'adaptation se sont révélées insuffisantes face à une sécheresse aussi intense et persistante, et touchant une aussi grande superficie. Étant donné que l'on prévoit que des sécheresses plus intenses et plus prolongées frapperont les Prairies dans l'avenir, ces récentes répercussions mettent en évidence la vulnérabilité de l'Ouest canadien et la nécessité d'améliorer la capacité d'adaptation dans toutes les régions.

Conclusions

Il se peut que l'allongement de la saison de croissance, l'augmentation du nombre de degrés-jours et les hivers plus doux et plus courts créent des possibilités pour l'agriculture. Pour ce qui est des répercussions négatives du changement climatique, elles comptent entre autres l'accroissement de la fréquence et de l'intensité des phénomènes extrêmes, tels que les sécheresses et les orages intenses, et des taux de changement rapides qui peuvent dépasser certains seuils. Les répercussions nettes sur l'agriculture ne sont pas claires et dépendent fortement des hypothèses posées, notamment de l'efficacité des mesures d'adaptation. Plusieurs aspects des mesures d'adaptation sont encore mal compris, comme le processus de mise en œuvre et l'efficacité potentielle des différentes approches.

4.2 INDUSTRIE FORESTIÈRE

Exploitation et aménagement forestiers

Les phénomènes climatiques de courte durée peuvent influer sur les activités forestières et sur l'accès à des approvisionnements en bois exploitables. On compte au nombre de leurs répercussions des inondations entraînant des pertes de routes, de ponts et de ponceaux, des températures hivernales plus élevées qui ont une incidence sur la durée de gel des terrains utilisés pour les activités hivernales, notamment sur la capacité de construire et d'entretenir des chemins de glace (*voir* la section 4.3), et des sols gorgés d'eau dans les parcelles de coupe, qui empêchent d'utiliser du matériel lourd (Archibald *et al.*, 1997). Dans les zones humides ou durant les périodes de fortes précipitations, le matériel d'exploitation peut creuser de profondes ornières, phénomène qui touche la productivité à long terme et la capacité de régénération des sites et le potentiel d'érosion (Archibald *et al.*, 1997; Grigal, 2000). Sur les parcelles très pentues, ces conditions peuvent être aggravées et entraîner des glissements de terrain (Grigal, 2000). D'autres répercussions résultent du mauvais entretien des chemins et des ouvrages de régularisation de l'eau, la première négligence étant responsable de l'érosion accrue des pentes et la seconde, de l'engorgement des sols et des inondations. Les activités d'exploitation forestière ont souvent lieu en hiver, parce que le sol gelé est relativement à l'abri des impacts du matériel lourd (Grigal, 2000). Les inondations ou l'érosion grave causées par les épisodes de précipitations extrêmes peuvent réduire, voire empêcher, les possibilités de remise en état des chemins forestiers temporaires

(Van Rees et Jackson, 2002). Les chemins qui traversent des cours d'eau ont un effet sur la qualité de l'eau et les habitats des poissons puisqu'ils y introduisent des sédiments, mais ces effets sont généralement peu importants, sauf lors de phénomènes extrêmes (Steedman, 2000). Parmi les réactions d'adaptation actuelles à ces conditions figurent l'utilisation de pneus à portance élevée sur le matériel forestier lorsque les sols sont mouillés (Mellgren et Heidersdorf, 1984), la réaffectation des activités de récolte forestière vers des sites plus secs et la réalisation de ces activités en été plutôt qu'en hiver. Cependant, les modifications du matériel peuvent être coûteuses et difficiles d'entretien.

À long terme, le climat a un effet sur la croissance et la durabilité de la productivité des peuplements forestiers. La température, l'humidité et la disponibilité des éléments nutritifs ainsi que les concentrations atmosphériques de CO_2 agissent toutes directement sur la croissance des arbres (Kimmins, 1997). Dans les forêts aménagées, les jeunes plants mis en terre sont sensibles au climat, et même les plants issus de la régénération naturelle qui suit une perturbation sont sensibles au climat dans les premiers stades de leur établissement (Parker *et al.*, 2000; Spittlehouse et Stewart, 2003). Les facteurs climatiques, par l'intermédiaire des sols et de la topographie, influent également sur la composition en espèces des peuplements et des paysages forestiers (Rowe, 1996).

La productivité des forêts et la composition en espèces dans le paysage subissent aussi les effets des perturbations de grande envergure, lesquelles sont fortement régies par le climat. Pour les forêts canadiennes, les agents de perturbation les plus importants sont les feux de forêt (Weber et Flannigan, 1997) et les infestations d'insectes (Volney et Fleming, 2000). Par exemple, dans les provinces des Prairies, les insectes nuisibles ont touché en moyenne 3,1 millions d'hectares par année entre 1975 et 2005, atteignant des superficies extrêmes de 10 à 12 millions d'hectares au milieu des années 1970 (Programme national de données forestières, 2005). Les feux de forêt ont dévasté dans les Prairies une moyenne d'un peu moins d'un million d'hectares par année entre 1975 et 2003, mais ils ont porté atteinte à 3 à 4 millions d'hectares durant certaines des années 1980 (Programme national de données forestières, 2005).

Pour évaluer les effets du climat sur les écosystèmes dans les forêts commerciales, il faut disposer de modèles d'écosystèmes complets qui incluent à la fois les processus agissant sur les écosystèmes à l'échelle locale (p. ex., la productivité) et les processus à l'échelle des paysages (p. ex., la dissémination des graines, les perturbations). Ces modèles dynamiques planétaires de la végétation peuvent être utilisés comme simulateurs individuels ou être couplés à des modèles de circulation générale. Il s'agit, par exemple, de l'Integrated Biosphere Simulator (IBI; Foley *et al.*, 1996), le modèle de Lund-Potsdam-Jena (Gerber *et al.*, 2004) et le MC1 (Bachelet *et al.*, 2001). Il faudra procéder à d'autres applications de ces modèles à l'échelle régionale, avec paramétrisation détaillée et validation des résultats, approche d'ailleurs adoptée en Europe dans le cadre de plusieurs évaluations forestières (Kellomäki et Leinonen, 2005; Schröter *et al.*, 2005; Koca *et al.*, 2006).

Vulnérabilités futures

Les scénarios climatiques établis pour les provinces des Prairies semblent indiquer que l'avenir apportera des hivers plus doux accompagnés de précipitations accrues, des printemps et des étés précoces pendant lesquels les taux d'humidité du sol seront réduits (*voir* la section 2.5). Dans ces conditions, les possibilités de transport au printemps sur les chemins forestiers pourraient être réduites. Dans les endroits vulnérables (p. ex., aux traversées routières), l'érosion est susceptible d'augmenter à cause de précipitations plus abondantes et plus intenses (Spittlehouse et Stewart, 2003). Les inondations demeureraient préoccupantes et exigeraient de prêter une attention particulière au choix de la taille des ponceaux et autres ouvrages de régularisation des eaux (Spittlehouse et Stewart, 2003). Dans les secteurs où les activités hivernales sont importantes, le raccourcissement de la période de gel du sol limiterait l'exploitation forestière et aurait une incidence sur l'affectation du matériel de récolte aux secteurs de coupe. Le tableau 10 présente des mesures d'adaptation possibles à ces types de changements et à d'autres répercussions du changement climatique.

TABLEAU 10 : Examples de mesures d'adaption en gestion forestière d'après Spittlehouse et Stewart (2003).

Gestion des gènes	**Pratiquer une sélection favorisant la résistance aux ravageurs, aux stress et aux extrêmes climatiques**
Protection des forêts	Modifier la structure des forêts et aménager les paysages afin de prévenir les incendies (c.-à-d. créer des aires d'inflammabilité moindre par réduction de la matière combustible)
Régénération forestière	**Aider les essences commerciales à migrer des territoires actuels vers des territoires futurs grâce à la régénération artificielle**
Aménagement sylvicole	Pratiquer des éclaircies précommercialisation afin d'améliorer la croissance et la résistance aux insectes et aux maladies
Ressources non ligneuses	**Minimiser la fragmentation de l'habitat et maintenir la connectivité**
Gestion des parcs et des aires de nature sauvage	Gérer ces espaces afin de retarder et d'orienter le changement, et d'améliorer ses effets

La hausse des températures fait augmenter à la fois l'absorption du carbone (photosynthèse) et les pertes de carbone (par respiration); son effet dépendra donc de l'équilibre net entre ces deux processus (Amthor et Baldocchi, 2001). Il a été démontré que la photosynthèse et la respiration s'adaptent au changement des conditions environnementales (acclimatation); par conséquent, toute augmentation pourrait être de courte durée. On a montré aussi que les changements de la photosynthèse dépendent fortement de la disponibilité des éléments nutritifs (en particulier de l'azote) et de l'eau (Baldocchi et Amthor, 2001). Globalement, on s'attend à ce que la productivité primaire nette s'accroisse avec l'élévation des températures et l'allongement des saisons de croissance, du moment que l'eau et les éléments nutritifs ne se révèlent pas des facteurs limitatifs (Norby *et al.*, 2005).

Les températures du sol monteront probablement aussi. Bien qu'aucune étude sur le réchauffement du sol n'ait été réalisée dans les Prairies, un réchauffement expérimental du sol effectué dans le

nord de la Suède (au 64 °Nord) a entraîné une augmentation de la croissance sur la surface expérimentale et a démontré que l'ajout d'engrais et d'eau faisait augmenter de façon spectaculaire la croissance en volume par rapport au seul réchauffement (Stromgren et Linder, 2002). Dans le cadre d'un vaste examen d'autres expériences de réchauffement du sol, on a trouvé des taux accrus de disponibilité de l'azote pour presque tous les sites et types de végétation (Rustad *et al.*, 2001). Toutefois, cette réaction est liée à la disponibilité de l'eau et subit également l'effet du dépôt d'azote provenant de sources industrielles (Kochy et Wilson, 2001).

Dans les provinces des Prairies, une bonne partie de la limite sud de la forêt boréale est actuellement vulnérable aux effets des sécheresses, et l'on s'attend à ce que cette vulnérabilité augmente dans l'avenir (Hogg et Bernier, 2005). La capacité de rétention d'eau (CRE) du sol est un facteur critique de la détermination de la quantité d'eau disponible pour répondre aux besoins d'absorption du système radiculaire des arbres. Dans le cadre de simulations de sécheresses à venir, on a obtenu une réduction d'environ 20 p. 100 de la productivité de l'épinette blanche dans des endroits de la Saskatchewan où la CRE est faible (Johnston et Williamson, 2005).

Une augmentation des concentrations atmosphériques de CO_2 améliore l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE), c'est-à-dire que, pour une unité donnée d'absorption du CO_2, la perte d'eau est réduite (Long *et al.*, 2004). L'accroissement de l'EUE pourrait se révéler un facteur particulièrement important dans les endroits où l'eau est limitée, de sorte que la croissance des arbres pourrait se poursuivre là où elle se trouverait normalement gravement limitée étant donné les taux de concentration de CO_2 actuels. Johnston et Williamson (2005) ont trouvé que, même dans des conditions de sécheresse graves, l'accroissement de l'EUE dans un scénario de teneur élevée en CO_2 se traduirait par une hausse de la productivité par rapport aux conditions actuelles. Dans les expériences sur l'enrichissement en CO_2 atmosphérique libre (free-air CO_2 enrichment ou FACE), on expose les arbres à des concentrations de CO_2 environ deux fois supérieures à celles de la période préindustrielle. Dans l'une de ces expériences, une hausse initiale de la production primaire nette (PPN) a été observée chez le pin taeda, mais elle n'a duré que relativement peu de temps, soit trois à quatre ans, et ne s'est produite qu'en présence de taux d'éléments nutritifs et d'eau du sol relativement élevés (DeLucia *et al.*, 1999; Oren *et al.*, 2001). On a observé que les arbres réagissaient plus que les autres types de végétation à l'augmentation des taux de concentration de CO_2, leur production de biomasse s'accroissant alors en moyenne d'environ 20 p. 100 à 25 p. 100 (Long *et al.*, 2004; Norby *et al.*, 2005).

L'effet du changement climatique sur les régimes de perturbation pourrait être considérable. Dans la région des Prairies, on s'attend à ce que les incendies de forêt soient plus fréquents (Bergeron *et al.*, 2004) et plus intenses (Parisien *et al.*, 2004) et à ce qu'ils touchent de plus vastes superficies (Flannigan *et al.*, 2005), quoique l'ordre de grandeur de ces changements soit difficile à prévoir. On s'attend, en outre, à ce que les proliférations d'insectes soient plus fréquentes et graves (Volney et Fleming, 2000). Le dendroctone du pin ponderosa suscite une inquiétude particulière à l'intérieur de la Colombie-Britannique (*voir* le chapitre 8) parce que cette région en subit actuellement une infestation majeure. Le dendroctone du pin ponderosa a commencé sa progression vers l'est et, au printemps 2007, infestait déjà quelque 2,8 millions d'arbres en Alberta (Alberta Sustainable Resource Development, 2007). La présence de températures de -40 °C en hiver impose une limite à la prolifération de cet insecte; avec le réchauffement du climat, ces températures contraignantes devraient se manifester plus au nord et à l'est, ce qui permettra au dendroctone de s'étendre au pin gris dans les provinces des Prairies. L'aire de répartition du pin gris étant presque continue de l'Alberta au Nouveau-Brunswick, la propagation éventuelle du dendroctone à l'ensemble de la forêt boréale canadienne est un scénario possible (Logan *et al.*, 2003; Carroll *et al.*, 2004; Moore *et al.*, 2005; Taylor *et al.*, 2006). L'effet à long terme des proliférations d'insectes sur l'aménagement forestier est difficile à prévoir, bien que l'on projette une mortalité accrue des arbres à la limite sud de la forêt boréale, en raison de l'interaction des insectes, des sécheresses et des incendies (Hogg et Bernier, 2005; Volney et Hirsch, 2005).

La fréquence accrue des perturbations dues aux incendies influera différemment sur les diverses espèces d'arbres, selon leur degré d'inflammabilité et leur capacité de régénération (Johnston, 1996). Certaines espèces de conifères sont de façon inhérente plus inflammables que les espèces de feuillus (Parisien *et al.*, 2004); le nombre accru d'incendies de forêt favorisera donc probablement les espèces de feuillus (p. ex., le peuplier) au détriment de certains conifères (p. ex., l'épinette blanche). Par conséquent, l'approvisionnement en bois des usines de panneaux à copeaux orientés du Canada, qui utilisent généralement comme matière première entre 90 p. 100 et 100 p. 100 de bois de feuillus (surtout du peuplier), ne serait pas aussi gravement touché par une augmentation des incendies de forêts que celui des scieries, qui dépendent des essences de conifères sujets aux incendies pour la production de bois d'œuvre.

Répercussions économiques et sociales

Les impacts du changement climatique à l'extérieur de la région auront des conséquences pour l'industrie forestière des Prairies. Étant donné l'importance des produits forestiers pour le secteur de la construction, l'augmentation des perturbations naturelles pourrait probablement stimuler le secteur des produits forestiers. Par exemple, le prix des panneaux de copeaux orientés a monté de plus de 50 p. 100 dans les semaines qui ont suivi l'ouragan Katrina, à l'automne 2005 (National Association of Home Builders, 2005). Aux endroits présentant les concentrations voulues d'eau et d'éléments nutritifs, l'augmentation de la croissance des arbres pourrait se traduire par une hausse de l'approvisionnement en bois, qui pourrait certes faire chuter les prix du marché, mais aussi offrir un avantage aux consommateurs (Sohngen et Sedjo, 2005). Par contre, les perturbations à grande échelle et le dépérissement des arbres pourraient réduire l'approvisionnement en bois, faisant ainsi monter les prix et entraînant des pénuries locales ou régionales de bois (Sohngen et Sedjo, 2005). Il pourrait s'ensuivre des fermetures d'usines, avec leur cortège d'effets économiques sur les petites collectivités tributaires de la forêt (Williamson *et al.*, 2005). Les changements dans la composition en espèces des nouvelles perturbations et aux conditions de croissance de l'avenir pourront amener les usines à modifier leur capacité de transformation et à introduire de nouveaux produits. Les coupes de récupération effectuées après les perturbations à grande échelle pourront fournir une quantité supplémentaire de biomasse ligneuse utilisable dans la production

de bioénergie, solution de choix envisagée en ce moment dans le cas des forêts infestées par le dendroctone du pin ponderosa en Colombie-Britannique (*voir* le chapitre 8; Kumar, 2005). Cependant, les effets des coupes de récupération intensives sur la fonction et la biodiversité des écosystèmes pourraient se révéler défavorables (Lindenmayer *et al.*, 2004).

4.3 TRANSPORTS

Dans les provinces des Prairies, le réseau de transports est étendu et varié. Le réseau routier public comprend plus de 540 000 km de routes équivalant à deux voies, soit 52 p. 100 du total national (Transports Canada, 2005). Environ 20 p. 100 de ce réseau est asphalté. Plusieurs milliers de kilomètres de chemins d'hiver (de glace) publics sont construits chaque année dans la région, la plupart au Manitoba, où quelque 2 300 km de chemins d'hiver donnent accès aux collectivités non desservies par des routes permanentes (Transports et Services gouvernementaux Manitoba, 2006). Le réseau ferroviaire (*voir* la figure 14) est aussi important pour la région et comprend une ligne qui se rend jusqu'au seul port de mer de la région, situé à Churchill, au Manitoba. En 2004, il y avait 51 aéroports en activité dans la région (Statistique Canada, 2004).

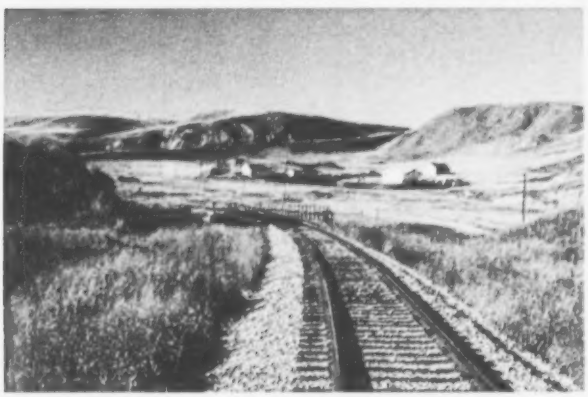


FIGURE 14 : Chemins de fer dans les environs de Red Deer River valley, près de Drumheller, en Alberta.

Le transport est un élément crucial de presque toutes les activités économiques et sociales, et les systèmes de transport sont très sensibles aux phénomènes météorologiques extrêmes (Andrey et Mills, 2003a). Étant donné que le changement climatique se traduira par des températures hivernales plus douces, il est probable que, durant la saison froide, une plus grande quantité de précipitations tomberont sous forme de pluie ou de pluie verglaçante. Une augmentation de la fréquence des épisodes de précipitations extrêmes (Kharin et Zwiers, 2000) et de la variabilité interannuelle du climat fera probablement croître les dommages causés aux routes, chemins de fer et autres ouvrages par les inondations, l'érosion et les glissements de terrain.

Certains changements climatiques pourront se traduire par des économies, notamment à la suite de la réduction du besoin de déneiger les routes, tandis que d'autres pourront conduire à d'importants investissements de capitaux, notamment en raison des améliorations apportées à la gestion des eaux pluviales (IBI Group, 1990; Marbeck Resource Consultants, 2003). Étant donné que les conditions météorologiques constituent un élément clé d'un grand nombre de questions ayant trait à la sécurité liée au transport, dont les accidents d'automobile et d'aéronef, le changement climatique influera sur les risques associés au transport des gens et des marchandises et, peut-être, sur les coûts d'assurance connexes. La demande de transport pourra également être touchée, car de nombreux secteurs de la région qui dépendent du transport, comme l'agriculture, l'énergie et le tourisme, subiront eux aussi les effets du changement climatique.

Impacts sur les infrastructures

Chaque élément de l'infrastructure étendue et diversifiée du réseau de transports des provinces des Prairies doit être conçu, construit et entretenu avec soin afin d'assurer un niveau de sécurité et de fiabilité aussi convenable que possible pendant sa durée de vie théorique. Des coûts importants sont associés à l'infrastructure du transport, dont la plupart sont assumés par les administrations locales, municipales, provinciales et fédérales. Des entreprises et des sociétés privées font également des investissements majeurs dans cette infrastructure, notamment dans l'industrie des chemins de fer.

Sans aucun doute, le plus important effet néfaste du changement climatique sur l'infrastructure du transport dans les provinces des Prairies concerne les chemins d'hiver (*voir* l'étude de cas 4), ces voies d'accès qui représentent pour les collectivités éloignées un lien de sécurité vital sur les plans social, culturel et économique (Kuryk, 2003; Centre for Indigenous Environmental Resources, 2006). Le coût de l'expédition de marchandises en vrac par voie aérienne est prohibitif. C'est pourquoi les menaces que représente un climat en évolution au regard du fonctionnement des chemins d'hiver sont source de préoccupation pour chacun des gouvernements provinciaux ayant pour mandat de fournir une infrastructure de transport de surface, ainsi que pour les collectivités desservies actuellement par ces chemins. Au cours de l'hiver 1997-1998, marqué par un épisode El Niño chaud, on a dépensé de 15 à 18 millions de dollars pour le transport aérien de fournitures à des collectivités éloignées du Manitoba et du nord de l'Ontario, parce que les chemins d'hiver ne pouvaient pas être construits ou entretenus pendant des périodes suffisantes (Paul et Saunders, 2002; Kuryk, 2003).

Par contraste, les hivers plus doux pourront entraîner des réductions substantielles des coûts associés aux infrastructures autres que les chemins de glace. Le temps froid et les cycles de gel-dégel fréquents sont une cause majeure de la détérioration des surfaces asphaltées et non asphaltées (Haas *et al.*, 1999). Dans le sud des provinces des Prairies, où l'on trouve la vaste majorité des surfaces routières permanentes, la réduction de la durée et de la rigueur de la saison de gel pourrait mener à des économies à long terme en termes de réparation et d'entretien. Cependant, les épisodes hivernaux de temps doux ou l'accroissement de la variabilité quotidienne des températures pourraient entraîner un accroissement de la fréquence des cycles de gel-dégel, du moins pendant quelques décennies, au fur et à mesure que les hivers se réchaufferont. En outre, dans certaines régions du nord, c'est le substrat gelé qui stabilise les routes asphaltées durant l'hiver, avantage que des hivers plus doux pourraient compromettre.

ÉTUDE DE CAS 4

Chemins d'hiver dans le nord du Manitoba

Le plus grave impact négatif du changement climatique sur l'infrastructure du transport dans le nord des provinces des Prairies concerne les chemins d'hiver. Au Manitoba, où l'on construit la majorité des chemins d'hiver de la région, plus de 25 000 personnes de 28 collectivités ne sont desservies que par ces derniers (Centre for Indigenous Environmental Resources, 2006), et on s'attend à ce que la population de ces collectivités double dans les 20 prochaines années. Quelque 2 300 kilomètres de chemins d'hiver sont construits chaque année afin d'assurer l'accès aux collectivités non desservies par des routes permanentes (Transports et Services gouvernementaux Manitoba, 2006).

Les chemins d'hiver constituent des voies de communication vitales entre les collectivités autochtones nordiques et d'autres parties du Canada. Ils représentent des liens de sécurité sociaux, culturels et économiques pour les collectivités éloignées puisqu'ils permettent la livraison des marchandises essentielles, notamment les aliments, les combustibles, les fournitures médicales et les matériaux de construction (Kuryk, 2003; Centre for Indigenous Environmental Resources, 2006). Leur absence soulèverait également des problèmes de sécurité, car de nombreux habitants du Nord utilisent les chemins et pistes d'hiver pour la chasse, la pêche et les activités culturelles et récréatives (*voir* la section 4.4).

Dans son étude portant sur cinq Premières nations du Manitoba (celles de Barrens Land, de Bunibonibee, de Poplar River, de St. Theresa Point et de York Factory), le Centre for Indigenous Environmental Resources (2006) a signalé les principaux problèmes suivants :

Fiabilité des chemins d'hiver

Les membres des collectivités nordiques sont d'avis que les deux causes les plus communes du mauvais état des chemins d'hiver sont : 1) le temps plus doux (attribué à la fois aux cycles naturels et au changement climatique d'origine anthropique) et 2) des niveaux d'eau élevés qui fluctuent rapidement et sont accompagnés de forts courants (attribués aux ouvrages de régularisation des débits et au ruissellement naturellement abondant). Parmi les mauvaises conditions constatées figurent :

- une réduction de l'épaisseur et de la solidité de la glace;
- le retard des saisons permettant la construction de chemins d'hiver et leur plus courte durée;
- des quantités excessives de gadoue, de plaques de terre, de nids-de-poules, de glace suspendue et de poches de glace sur les chemins;
- le fait que les chemins tracés suivent un parcours moins direct que ceux qui traversent les plans d'eau.

On s'attend à ce que, en raison du changement climatique, la durée de la saison permettant les chemins d'hiver au Manitoba diminuera de huit jours dans les années 2020, de 15 jours dans les années 2050, et de 21 jours dans les années 2080 (Prentice et Thomson, 2003).

Défaillance des chemins d'hiver et gestion des cas d'urgence

Transports et Services gouvernementaux Manitoba (TSGM) a signalé une diminution de l'épaisseur de la glace, une texture et une densité médiocres de la glace, un retard de la saison permettant la construction des chemins d'hiver, des zones de muskeg problématiques et une réduction des limites de charge. Il y a eu des cas de matériel endommagé de façon irréparable par un seul trajet sur un chemin d'hiver. Les interventions d'urgence en cas de défaillance des chemins d'hiver, y compris le transport aérien des approvisionnements, sont coûteuses, comme on l'a déjà décrit pour l'hiver doux de 1997-1998.

Sécurité personnelle sur les chemins et pistes d'hiver et sur les plans d'eau gelés

Lorsque les saisons de chemins d'hiver sont courtes, certains membres des collectivités prennent des risques supplémentaires sur les chemins et pistes d'hiver et sur les plans d'eau gelés. Par exemple, un travailleur en construction de routes de la Première nation de Wasagamack s'est noyé en 2002 lorsque la niveleuse qu'il conduisait s'est enfoncée sous la glace.

Préoccupations pour la santé des personnes

L'accès aux centres de santé et autres formes d'aide médicale devient problématique lorsque les chemins et les sentiers d'hiver ne sont pas disponibles. De plus, les taux élevés de diabète dans les collectivités autochtones ont été liés à la difficulté de se procurer des aliments sains et abordables, qu'ils proviennent de magasins ou de la nature. Le stress représente une autre cause de préoccupation en matière de santé découlant du raccourcissement des saisons de chemins d'hiver, puisque ce raccourcissement entraîne des pressions financières et l'isolement social.

Hausse du coût de la vie

Le transport par les chemins d'hiver réduit au minimum les coûts du carburant, des marchandises et des services. Le transport des marchandises par voie aérienne est de deux à trois fois plus coûteux que le transport de surface par les chemins d'hiver. On peut également bénéficier des prix plus bas offerts dans les grands centres accessibles par les routes toutes-saisons. Le coût des aliments est une question d'importance, puisque le taux de chômage dans les collectivités nordiques peut atteindre 80 p. 100 à 90 p. 100. La consommation de viandes et de poissons sauvages permet aux gens de contrebalancer le coût élevé des aliments achetés au magasin local, mais les hivers plus doux limitent leurs possibilités de récolter des aliments traditionnels (*voir* la section 4.4).

Diminution de la participation aux activités sociales et récréatives

Les chemins d'hiver, les sentiers d'accès et les plans d'eau gelés jouent un rôle social et culturel important au sein des collectivités nordiques. Ils permettent l'accès aux collectivités avoisinantes et aux grands centres pour le magasinage, la visite d'amis et de membres de la famille, les rencontres sociales (p. ex., pour les mariages, les naissances et les funérailles), la participation à des activités récréatives (p. ex., bingos, festivals et tournois de pêche) et les visites à des personnes âgées dans les hôpitaux ou les installations de soins.

En outre, les membres des collectivités utilisent les sentiers pour des randonnées récréatives. Ces dernières années, on a dû annuler certains tournois de pêche et carnavals d'hiver. Dans l'ensemble, les individus se sentent plus isolés de leurs amis et parents qui habitent des collectivités voisines lorsque les saisons de chemins d'hiver sont plus courtes et moins fiables. Des déplacements en hélicoptères sont possibles, mais la plupart des gens ne peuvent se permettre les tarifs élevés.

Entrave aux activités communautaires et au développement économique

Beaucoup d'activités économiques sont liées à l'accès que fournissent les terrains et les plans d'eau gelés. La glace trop mince et l'état médiocre des routes en hiver ont restreint certaines activités rémunératrices, notamment la pêche sur glace et l'exportation de ressources (p. ex., poissons et fourrures) destinées à être vendues dans les grands centres. Les chemins d'hiver permettent aux collectivités et entreprises d'acquérir plus efficacement les marchandises et approvisionnements requis pour leurs activités régulières et les travaux d'entretien et de réparation. En outre, ils permettent aux Premières nations de tirer un revenu grâce aux contrats de construction et d'entretien des routes conclus avec TSGM. Ainsi, la durée et la période d'utilisation des chemins d'hiver peuvent avoir une incidence sur le développement économique, le logement, les immobilisations, les projets spéciaux et l'entretien du matériel.

Le Centre for Indigenous Environmental Resources (2006) a recommandé une gamme de mesures à prendre au niveau des collectivités et du gouvernement pour faire face aux problèmes causés par la détérioration des chemins d'hiver. Elles peuvent se résumer comme suit :

- Accroître la sécurité des chemins d'hiver (deux niveaux).
- Élaborer des plans d'action communautaire relatifs au changement climatique (collectivité) et fournir un appui à la mise en œuvre de ces plans (gouvernement).
- Élaborer une stratégie de communication (collectivité) et accroître les communications avec les autres Premières nations (gouvernement).
- Accroître les possibilités d'activités sociales, culturelles et récréatives (collectivité), et appuyer ces possibilités (gouvernement).
- Accroître la consommation des aliments locaux (collectivité) et appuyer cette consommation (gouvernement).
- Améliorer la sécurité des collectivités (deux niveaux).
- Augmenter les possibilités de financement des opérations communautaires (deux niveaux).

On s'attend à ce que les hausses de la température moyenne et l'augmentation de la fréquence des journées chaudes en été fassent monter le coût des infrastructures routières. Les surfaces couvertes d'asphalte, surtout celles sur lesquelles circulent beaucoup de camions lourds, sont en effet particulièrement susceptibles d'être endommagées durant les vagues de chaleur. Parmi les problèmes possibles figurent la formation d'ornières dans les surfaces ramollies ainsi que le ressuage de l'asphalte liquide à la surface des chaussées mal construites (Lemmen et Warren, 2004). La formation d'ornières s'avère le problème le plus grave et le plus coûteux à régler. Chacun de ces problèmes peut largement être évité grâce à une conception et à des méthodes de construction appropriées. On ne sait toujours pas de façon certaine quelle conséquence aura le plus d'importance dans la région : les économies attribuables à la réduction des dommages causés aux routes par le gel ou les coûts engendrés par les dommages plus fréquents causés aux routes en raison des températures estivales plus élevées.

Les coûts d'entretien de l'infrastructure des chemins de fer seront probablement réduits en raison des hivers plus doux. Les températures extrêmement basses font casser les traverses de chemins de fer, entraînent le mauvais fonctionnement des aiguillages et imposent un stress physique aux wagons. Une réduction des épisodes de temps extrêmement froid pourrait donc se traduire par une diminution des coûts associés à ces problèmes. En été, toutefois, les dommages causés aux rails par la dilatation thermique (Grenci, 1995; Smoyer-Tomic *et al.*, 2003) augmenteront probablement à mesure que les vagues de chaleur se feront plus fréquentes. De façon peut-être plus importante, il est probable que les lignes de chemin de fer septentrionales traversant des zones de pergélisol, comme celle qui dessert le port de Churchill dans le nord du Manitoba, nécessiteront des réparations importantes et fréquentes, ou même devront être déplacées, à cause de la dégradation du pergélisol (Nelson *et al.*, 2002).

La hausse du niveau de la mer aura des répercussions sur les rives de la baie d'Hudson (Overpeck *et al.*, 2006), même si la terre monte elle aussi en raison du fort taux de relèvement glacio-isostatique. Le port de Churchill et ses installations subiront peut-être une érosion plus fréquente et plus grave par l'eau et la glace, phénomène susceptible d'avoir des conséquences sur l'infrastructure de navigation. En revanche, l'allongement significatif de la saison d'eau libre dans la baie d'Hudson et les chenaux du nord dû à la poursuite du réchauffement climatique (Arctic Climate Impact Assessment, 2005) augmentera la possibilité que des navires océaniques puissent utiliser le port de Churchill comme point de départ et d'arrivée pour le transport du grain et d'autres marchandises en vrac (*voir* le chapitre 3).

Opérations et entretien

Le changement climatique risque d'avoir une incidence sur la disponibilité, les horaires, l'efficacité et la sécurité des services de transport (p. ex., Andrey et Mills, 2003b). Tous les modes de transport sont, au moins occasionnellement, non disponibles, ou leurs horaires sont perturbés, en raison de phénomènes d'ordre météorologique. La majorité des retards ou des annulations ainsi causés surviennent en hiver, habituellement en raison de fortes chutes de neige, de blizzards ou de pluie verglaçante, mais aussi de petites vagues de froid extrême. Comme les hivers plus doux seront associés à une diminution de ces vagues de froid, les retards associés à ce genre de phénomènes devraient être moins nombreux et durer moins longtemps. Certaines indications permettent de prévoir qu'un climat plus doux entraînera une diminution du nombre et de l'intensité des blizzards (Lawson, 2003). Si tel est le cas, le secteur des transports pourrait réaliser des économies substantielles, en particulier les lignes aériennes et l'industrie du camionnage. Cette dernière doit souvent assumer des pénalités et des coûts importants associés aux retards dans l'expédition de divers produits, notamment les denrées périssables.

Un climat plus doux pourrait aussi se traduire par une baisse du nombre d'accidents, de blessures et de la mortalité liés aux intempéries (Mills et Andrey, 2002), particulièrement en hiver, si les chutes de neige deviennent moins intenses et moins fréquentes. Il existe une forte corrélation positive entre les accidents de la circulation et la fréquence des précipitations (Andrey *et al.*, 2003). On a déjà signalé une réduction du nombre de blizzards dans les Prairies (Lawson, 2003). Les chutes de neige contribuent pour beaucoup à la diminution de l'efficacité et de la sécurité de la circulation routière au Canada (Andrey *et al.*, 2003), et entraînent de grosses dépenses liées au déneigement des routes. Par exemple, durant l'hiver 2005-2006, le gouvernement du Manitoba a effectué des opérations de déneigement totalisant 1 455 193 kilomètres et de nivelage de la glace totalisant 220 945 kilomètres; près de 57 000 tonnes de sel de déglaçage ont été appliquées sur les autoroutes provinciales; et 42 p. 100 des dépenses annuelles de 80 millions de dollars consacrées à l'entretien ont été faites en hiver (Transports et Services gouvernementaux Manitoba, 2006). Par conséquent, des hivers plus doux accompagnés de moins de neige peuvent entraîner une réduction substantielle des coûts associés à l'enlèvement de la neige et de la glace des routes (p. ex., IBI Group, 1990; Jones, 2003), et l'application d'une quantité moindre de sel sur les routes glacées pourrait diminuer de beaucoup les dommages causés aux véhicules, aux ponts et à d'autres ouvrages en acier (Mills et Andrey, 2002). Toutefois, ces économies potentielles dépendent énormément de la température, et il se peut même que le nombre de jours durant lesquels il faudra appliquer du sel augmente s'il y a davantage de jours de pluie verglaçante.

Même si les quantités totales de précipitations ne changent pas considérablement, on reconnaît de façon générale que la fréquence des précipitations extrêmes augmentera (Groisman *et al.*, 2005), qu'une plus grande partie des précipitations hivernales tombera sous forme de pluie (Akinremi *et al.*, 1999) et que la répartition des précipitations au cours de l'année changera (Hofmann *et al.*, 1998). L'augmentation de la fréquence des précipitations extrêmes en été entraînera probablement une augmentation du nombre d'accidents de la route. Les précipitations intenses et l'excès d'eau ralentissent également les activités de transport. Par exemple, des précipitations accrues et plus intenses dans les montagnes augmenteront probablement l'incidence des inondations éclairs et des coulées de débris (*voir* la section 3.3), ce qui perturbera les grands réseaux de voies de communication. Une augmentation de la fréquence des vents violents découlerait du nombre accru de tempêtes et causerait des retards et des risques pour les transports aériens.

4.4 COLLECTIVITÉS

La vulnérabilité des collectivités des Prairies au changement climatique varie selon leur capacité d'adaptation et leur exposition directe aux répercussions potentielles. Pour évaluer la capacité d'adaptation, il est nécessaire de prendre en considération les caractéristiques sociales, culturelles, économiques et

institutionnelles (*voir* le chapitre 2; Davidson *et al.*, 2003). Par le passé, les sociétés ont fait preuve d'une capacité remarquable à s'adapter aux conditions climatiques locales (Ford et Smit, 2003), mais des stress répétés ou continus, comme ceux que suscite le changement climatique, peuvent augmenter la vulnérabilité, en particulier lorsqu'ils surviennent en combinaison avec d'autres facteurs générateurs de stress et assez fréquemment pour empêcher le rétablissement.

Centres urbains

La majorité de la population des Prairies est concentrée dans quelques centres métropolitains dont la taille est cependant relativement petite, seule Calgary ayant une population approchant le million d'habitants. Dans l'ensemble, les grands centres urbains jouissent d'une capacité d'adaptation supérieure à celle des municipalités plus petites et des collectivités rurales. Les villes ont des infrastructures de communications et de transports bien développées; dans la plupart des cas, elles possèdent des réserves économiques et des capacités d'intervention en cas d'urgence bien développées, et elles ont tendance à avoir une plus grande influence politique (Crosson, 2001). Toutefois, dans une étude sur la capacité d'adaptation des villes dans les provinces des Prairies, on a constaté chez les décideurs un manque de connaissances et de sensibilisation quant aux répercussions possibles du changement climatique et à la nécessité de s'adapter (Wittrock *et al.*, 2001).

Les principaux effets du climat les plus préoccupants pour les villes des Prairies sont les phénomènes météorologiques extrêmes, les sécheresses, les maladies, le stress dû à la chaleur et la transformation graduelle de l'écologie des espaces verts urbains.

Phénomènes météorologiques extrêmes : La lutte contre les inondations constitue peut-être pour les zones urbaines la plus importante préoccupation d'ordre climatique (Wittrock *et al.*, 2001). Par le passé, les villes n'ont jamais été planifiées pour prévenir les inondations, de telle sorte que de nombreux quartiers sont situés dans des secteurs propices aux inondations et que les méthodes de gestion des risques en place s'avèrent souvent inadéquates. Les infrastructures actuelles de gestion de l'eau (système de stockage et de drainage) ne sont peut-être pas adaptées aux changements prévus dans les régions de précipitations et de fonte des neiges.

Sécheresses : En général, les villes sont plus protégées contre les effets des sécheresses que les collectivités rurales, car elles sont dotées d'infrastructures d'acquisition et de stockage d'eau plus perfectionnées. Néanmoins, les augmentations prévues de l'ampleur et de la fréquence des sécheresses influeront certainement sur les approvisionnements en eau et sur l'utilisation de cette dernière dans les villes des Prairies, et souligneront l'importance des initiatives de gestion efficace de l'eau.

Stress thermique : Dans les villes, le stress thermique associé à la hausse des températures planétaires est aggravé par les effets d'« îlot de chaleur » (p. ex., Arnfield, 2003). Bien que les températures les plus élevées du Canada l'on ait enregistré dans les Prairies, celles-ci sont rarement associées à un taux d'humidité élevé. C'est pourquoi on n'a adopté que relativement peu de politiques et de technologies de lutte contre le stress thermique, comme les systèmes d'air climatisé résidentiels et les abris urbains. De plus, les villes des Prairies, ne connaissant pas les niveaux de pollution atmosphérique typiques des centres urbains de l'Ontario et du Québec, ne sont pas susceptibles de subir les effets cumulatifs du stress thermique et d'une forte pollution atmosphérique (*voir* les chapitres 5 et 6). Malgré tout, les journées de chaleur extrême sont des événements de grande portée dans les villes des Prairies, surtout pour les populations les plus vulnérables.

Espaces verts : Les espaces verts urbains sont vulnérables à la fois aux changements à long terme des températures moyennes et des précipitations, ce qui rend les espèces existantes peu adaptées aux nouvelles tendances du climat, et à des phénomènes plus graves comme les sécheresses, lesquels peuvent soumettre la végétation et la faune sauvage à un stress intense. L'une des dépenses qu'ont dû assumer les villes des Prairies au cours du plus récent épisode de sécheresse (2000 à 2002) a été la perte d'arbres ornementaux. Par exemple, la ville d'Edmonton a estimé avoir perdu environ 23 000 arbres pour cause de sécheresse depuis 2002, mais ses ressources lui permettent de n'en remplacer que 8300.

Collectivités rurales

En Saskatchewan et au Manitoba, respectivement 36 p. 100 et 28 p. 100 de la population vivent dans des collectivités rurales. L'Alberta est plus urbanisée, avec seulement 19 p. 100 de sa population qui vit en régions rurales. Certaines collectivités rurales connaissent actuellement une croissance démographique et économique rapide, tandis que d'autres, en particulier de nombreuses collectivités agricoles du sud des Prairies, sont en déclin. Peu de collectivités rurales ont accès au même niveau de ressources que les villes en matière de gestion des catastrophes (p. ex., dans les cas de programmes d'intervention en cas d'urgence et de soins de santé). Pour les collectivités nordiques éloignées, le transport de matériaux et d'approvisionnements vers une collectivité ou le transport de leurs résidants vers l'extérieur en cas de danger sont des facteurs limitatifs à cause du petit nombre de voies de transport. De plus, dans une petite ville, même un phénomène dangereux de faible envergure peut s'avérer catastrophique à l'échelle locale, simplement parce qu'il risque probablement de toucher une plus grande proportion de la population (« l'effet de la proportionnalité »; Mossler, 1996).

En général, les collectivités rurales sont plus sensibles que les villes aux répercussions du changement climatique, en grande partie à cause de leur dépendance économique envers les secteurs des ressources naturelles et de leur manque de possibilités de diversification économique. Plus de 25 p. 100 des emplois dans les collectivités rurales canadiennes se trouvent dans les industries primaires, et une proportion beaucoup plus grande de la main-d'œuvre dépend indirectement de ces industries. Dans la région des Prairies, 78 p. 100 des emplois liés aux ressources se trouvent dans le secteur agricole (Stedman *et al.*, 2005). De nombreuses collectivités rurales des Prairies subissent déjà un stress dû à la fois à des phénomènes climatiques, comme la sécheresse de 2001-2002, et à des facteurs non climatiques tels que le problème du commerce du bois d'œuvre résineux et les épizooties d'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB). Ces collectivités se caractérisent donc simultanément par un éventail réduit de possibilités d'adaptation – à mesure que les réserves de capitaux financiers et de capital social des collectivités et des ménages sont épuisées – et par une probabilité réduite qu'elles s'engagent dans un processus de planification proactif, le changement climatique étant relégué à l'arrière-plan par d'autres facteurs de stress plus immédiats.

La majorité des collectivités rurales de la région sont situées dans l'écozone des Prairies. Les risques et les possibilités des collectivités agricoles sont fortement liés aux effets du changement climatique sur l'agriculture, tels que décrits à la section 4.1. Les répercussions les plus préoccupantes sont les phénomènes météorologiques extrêmes, les sécheresses et les changements survenant dans les écosystèmes. Les sécheresses sont particulièrement préoccupantes, car les collectivités rurales dépendent essentiellement de l'eau de puits et de petits réservoirs qui peuvent se tarir durant une sécheresse grave. On s'entend pour reconnaître que le secteur agricole jouit d'une capacité

d'adaptation relativement élevée, tant à l'échelle de la ferme que globalement. En raison de la récente restructuration agricole et de la tendance à l'expansion des exploitations, de nombreuses collectivités ont connu un exode important des plus jeunes membres de leur population, de telle sorte que l'âge moyen des agriculteurs canadiens est maintenant de 55 ans (Voaklander *et al.*, 2006). Il se peut qu'une population agricole vieillissante soit moins innovatrice en termes de volonté d'appliquer de nouvelles mesures d'adaptation; par contre, les exploitations d'envergure industrielle, qui ont accès à plus de capitaux, n'ont pas nécessairement le même niveau d'engagement envers la durabilité des collectivités rurales.

Les collectivités forestières, principalement dans l'écozone boréale, forment une petite proportion des collectivités rurales, le secteur forestier fournissant environ 2 p. 100 des emplois régionaux dans les provinces des Prairies (Stedman *et al.*, 2005). L'industrie forestière est beaucoup plus importante en Alberta qu'au Manitoba ou en Saskatchewan. Étant donné les répercussions potentielles du changement climatique sur les écosystèmes forestiers (*voir* la section 3.2) et sur l'exploitation forestière commerciale (*voir* la section 4.2), les collectivités forestières feront face à un degré élevé d'incertitude (Mendis *et al.*, 2003). En outre, une partie de leur vulnérabilité pourrait tenir au manque relatif de souplesse de l'industrie forestière moderne, en particulier dans les Prairies, où ce secteur en est à ses débuts. La région est caractérisée par de vastes superficies d'aménagement forestier gérées selon des horizons de planification décennaux et par des installations de transformation modernes de grande capacité qui ne conviennent peut-être qu'à une ou deux essences. À l'instar des autres collectivités rurales, les collectivités forestières se trouveront peut-être aussi gravement limitées dans leur capacité d'intervention en cas d'urgence. De nombreuses collectivités forestières sont en outre situées dans des régions éloignées où l'accès aux transports est limité, ce qui peut constituer un problème si des phénomènes météorologiques extrêmes ou des incendies de forêt rendent inutilisables leurs voies de transport principales.

Les collectivités fondées sur l'exploitation des ressources minières et énergétiques, sises principalement dans les écozones boréale et de la taïga, pourraient s'avérer vulnérables, étant donné les répercussions du changement climatique sur ces secteurs (*voir* la section 4.6). Des réductions prévues dans les approvisionnements en eau suscitent des préoccupations particulières, car de nombreux procédés utilisés dans ces secteurs dépendent fortement de la disponibilité de l'eau. Parmi les autres facteurs figurent les perturbations de l'alimentation en électricité et des réseaux de transport qui desservent les collectivités éloignées du Nord. La croissance démographique rapide de certaines collectivités fondées sur l'exploitation de l'énergie, notamment Fort McMurray, en Alberta, pourrait les rendre plus vulnérables au changement climatique, car la demande a déjà dépassé les capacités de tous genres d'infrastructures en place, y compris les logements répondant à des normes minimums. Il se peut que les ressources en services sociaux soient sursollicitées, en particulier lorsque nombre des nouveaux arrivants proviennent de contextes culturels divers. Par conséquent, la capacité d'intervenir en cas de phénomènes météorologiques extrêmes, d'incendies de forêt et de problèmes sanitaires est un souci de taille. Cette croissance rapide a aussi des effets nuisibles sur l'intégration sociale et la satisfaction des collectivités, facteurs qui peuvent tous deux avoir une incidence sur la capacité de réagir à des crises imprévues. Les collectivités ayant une population stable ont en effet tendance à mieux surmonter de telles situations.

Dans plusieurs collectivités des Prairies, l'économie dépend beaucoup du tourisme et des activités récréatives basées sur la nature. Les répercussions économiques potentielles du changement climatique sur le tourisme seront les plus prononcées en Alberta dont l'industrie touristique a généré en 2005 plus de 4,96 milliards de dollars en recettes (Alberta Economic Development, 2006), principalement grâce aux touristes canadiens et étrangers qui visitent les parcs nationaux des Rocheuses canadiennes. La ville de Banff, à elle seule, a reçu chaque année entre 3 et 5 millions de visiteurs durant la dernière décennie (Service Alberta, 2005). Le tourisme en milieu naturel et les collectivités qui dépendent de cette industrie doivent maintenant relever plusieurs défis vu les effets du changement climatique sur les écosystèmes (*voir* la section 3.2) et sur les activités récréatives qui se déroulent à l'extérieur (*voir* la section 4.7). Les parcs les plus gravement touchés par les répercussions économiques sont les îlots de forêt (*voir* l'étude de cas 1) et les petites zones récréatives du sud des Prairies, où l'eau et les arbres qui attirent les visiteurs sont particulièrement sensibles à un climat en évolution (*voir* la figure 15).

FIGURE 15 : Terres humides des Prairies.

Les collectivités autochtones enregistrent les taux de pauvreté et de chômage les plus élevés de toutes les provinces des Prairies. Environ la moitié de la population autochtone de cette région vit dans les villes. Le reste vit dans les territoires traditionnels ou à proximité; or, ces territoires sont directement exposés aux répercussions du changement climatique sur les écosystèmes, l'eau et les ressources forestières (*voir* l'étude de cas 5). En outre, nombre de collectivités autochtones ont comme moyens d'existence, du moins en partie, les activités de subsistance, car les approvisionnements en aliments traditionnels complètent leur régime dans une mesure beaucoup plus importante que chez les populations non autochtones. Les effets du changement climatique ayant des conséquences sur la flore et la faune, une baisse de la disponibilité des orignaux, des caribous, des cerfs, des poissons et du riz sauvage, ou l'incertitude quant à leur disponibilité au cours d'une année donnée, augmentera la dépendance envers les aliments importés, ce qui aura pour les résidents des répercussions économiques et sur le plan de la santé. Ces derniers se disent déjà préoccupés par une réduction de leurs activités de subsistance due aux difficultés qu'ils ont à accéder aux terres des réserves et aux territoires traditionnels en hiver. De mauvaises conditions de neige et de terrain peuvent nuire grandement aux déplacements effectués à pied ou en motoneige pour se rendre aux territoires de piégeage, de chasse et de pêche. Ces collectivités signalent que la baisse de niveau de ces activités traditionnelles est liée à des préoccupations concernant la sécurité des personnes.

ÉTUDE DE CAS 5

Moyens d'existence traditionnels des Premières nations et changement climatique : Forum des Aînés du Grand conseil de Prince Albert (GCPA), février 2004

Les Autochtones de la région des Prairies, les Aînés en particulier, font part de leurs connaissances sur le changement climatique, surtout dans les régions nordiques où les activités de subsistance demeurent liées au territoire. De récentes initiatives indiquent que la collaboration entre les chercheurs et les collectivités autochtones est de plus en plus nécessaire pour comprendre les questions de changement climatique et y faire face. Lors du Forum des Aînés du Grand conseil de Prince Albert (GCPA) sur le changement climatique, tenu en février 2004 (Ermine *et al.*, 2005), qui reposait sur le principe d'apprentissage respectueux et les protocoles traditionnels, les Aînés de la région du GCPA ont pu mettre en commun, entre eux et avec les membres du milieu de la recherche, des informations sur le changement climatique. De façon générale, les observations des Aînés du GCPA ont renforcé, confirmé ou amélioré les observations scientifiques. Les Aînés ont partagé les éléments de la sagesse collective accumulée par des générations de leurs ancêtres ayant vécu à des endroits précis; ces informations viennent étayer les points de vue des scientifiques sur les impacts du changement climatique et l'adaptation. Les Aînés considèrent le changement climatique comme un processus plus vaste qui englobe aussi les aspects socioculturels de leur vie. Ils ont parlé avec une voix empreinte d'émotion du territoire, rendant hommage à un moyen d'existence qui assure leur santé et leur bien-être, notamment grâce au piégeage, à la chasse et à la pêche.

Observations des changements et des répercussions

Les Aînés sont conscients que la variabilité annuelle fait partie des tendances normales de la nature. Cependant, ils ont identifié plusieurs tendances préoccupantes, notamment :

- Des phénomènes météorologiques extrêmes, comme les tornades et la grêle, se manifestent plus fréquemment ces dernières années.
- Les changements observés dans les caractéristiques saisonnières sont plus préoccupants que les événements climatiques isolés et révèlent que le changement climatique est un problème grave. Par exemple, ils ont remarqué que les conditions saisonnières de l'été et de l'automne se prolongent jusqu'aux mois « d'hiver » habituels.
- Récemment, ils ont remarqué que les étés sont anormalement secs et que les pluies n'ont pas d'effet appréciable sur les niveaux d'humidité.
- La quantité et la qualité de l'eau se détérioreront sur leurs territoires, en partie à cause de l'activité humaine.
- Un déséquilibre général de la nature, visible à l'état de la flore et de la faune et déduit à partir de comportements anormaux de la faune sauvage, comporte des changements liés aux habitudes migratoires et aux aires de répartition des populations sur leurs territoires.
- De nouvelles espèces commencent à habiter des régions où on ne les avait encore jamais vues; notamment, des oiseaux rarement observés se font plus fréquents, et des animaux (p. ex., les couguars et les cerfs de Virginie) s'aventurent dans des régions éloignées de leurs aires de répartition habituelles.
- La chaleur plus forte de l'été affecte la santé des enfants et des personnes âgées.
- L'imprévisibilité du temps influe sur leur état de préparation aux activités extérieures.
- Les plantes, dont les arbres et les arbustes à petits fruits, souffrent de la chaleur et des sécheresses qui l'accompagnent, de telle façon que les produits utiles qu'ils en tirent ne sont plus aussi abondants.
- La diminution de la qualité et de l'épaisseur du pelage d'hiver des animaux à fourrure a de sérieuses répercussions sur le moyen d'existence des gens du Nord qui pratiquent le piégeage.

Adaptation et capacité d'adaptation

Les Aînés reconnaissent que les tendances du climat font partie de l'existence. Ils ont toujours vécu au gré de la nature. Selon eux, les prophéties étaient un mécanisme traditionnel d'adaptation, car elles préparaient les gens pour l'avenir. À titre d'exemple, un Aîné a décrit les comportements des abeilles qui présagent du type d'hiver auquel il faut s'attendre. Le comportement des animaux est minutieusement observé et utilisé comme base des prédictions.

Le maintien des liens avec le territoire et l'environnement constitue un élément de base important qui contribue à la santé des individus et des collectivités. Lorsque les gens perdent le contact avec le territoire, les voies de communication entre le milieu naturel et le milieu social s'en trouvent coupées. Les Aînés ont fait part de leur conviction profonde qu'il est de leur responsabilité de conserver et de protéger la terre pour les générations à venir. Ils ont exprimé le souhait de prendre les mesures qui s'imposent, mais ils se sont posé des questions quant à leur capacité d'avoir une incidence sur les activités des sociétés industrielles. Le besoin de coopération entre les divers secteurs de la société a été fortement souligné. Le forum lui-même était considéré comme un élément de la solution, et les Aînés ont dit apprécier la participation des scientifiques occidentaux à la discussion sur le changement climatique.

Les Aînés se sont volontairement abstenus de formuler des résolutions et des recommandations officielles. Ils estiment que leur rôle est de renforcer leurs propres collectivités locales et leurs connexions culturelles avec le territoire, particulièrement en travaillant avec les jeunes. L'un des résultats du Forum des Aînés concerne la façon dont le changement climatique est perçu. Dans la perspective des Aînés, les changements mondiaux ont été isolés et étiquetés prématurément par les scientifiques occidentaux comme étant la principale dimension du « changement climatique », ce qui a eu pour effet de faire abstraction, dans une large mesure, de la dimension humaine de la question. La valeur de leur perspective est qu'elle rétablit l'élément humain parmi les priorités, tant au chapitre des répercussions qu'à celui de la responsabilité.

4.5 SANTÉ

La santé et le bien-être humains sont étroitement liés aux conditions climatiques et météorologiques. Avec le changement climatique, les populations des Prairies pourront subir une charge supplémentaire d'effets néfastes sur la santé dus à la pollution atmosphérique, aux intoxications alimentaires, aux maladies liées à la chaleur, à une mauvaise santé mentale, aux particules, aux agents pathogènes d'origine hydrique et aux maladies à transmission vectorielle (Seguin, *sous presse*). Les sous-populations dont la santé est le plus à risque sont les enfants, les personnes âgées, les Autochtones, les personnes de faible statut socio-économique, les sans-abri et les personnes souffrant déjà de problèmes de santé.

Parmi les aspects du climat en évolution qui agissent directement ou indirectement sur la santé et le bien-être des habitants des Prairies figurent les sécheresses, les inondations, l'évolution des écosystèmes et la hausse des températures.

Sécheresses

Les sécheresses réduisent le volume des eaux de surface et provoquent ainsi une augmentation des concentrations d'agents pathogènes et de toxines dans les approvisionnements en eau à usage domestique (Charron *et al.*, 2003; Organisation mondiale de la santé, 2003). Elles augmentent la production de poussières provenant de sources à ciel ouvert (p. ex., les routes non asphaltées, les champs et les incendies de forêt), responsables de 94 p. 100 des émissions de particules au Canada (Smoyer-Tomic *et al*, 2004). Le principal effet sur la santé de l'inhalation de poussières est l'inflammation des voies respiratoires dont les manifestations incluent l'asthme, les rhinites allergiques, les bronchites, la pneumopathie d'hypersensibilité et le syndrome toxique des poussières organiques (do Pico, 1986; Rylander, 1986; do Pico, 1992; Lang, 1996; Simpson *et al.*, 1998).

Les sécheresses empirent les feux de forêt (Smoyer-Tomic *et al.*, 2004), qui sont associés à l'augmentation du nombre d'affections respiratoires, de visites à l'hôpital et de la mortalité (Bowman et Johnston, 2005), et aux frais qui en découlent (*voir* Rittmaster *et al.*, 2006). Les incendies de forêt peuvent également imposer un stress sur la santé mentale, à cause des évacuations et des déplacements faits à la hâte (Soskolne *et al.*, 2004). Au cours d'un incendie de forêt survenu en mai 1995, le seul accès routier à Fort McMurray a été bloqué, ce qui a rendu difficile le transport des cas d'urgence médicale et de certaines fournitures (Soskolne *et al.*, 2004).

Les sécheresses sont également des sources de détresse pour le monde agricole, surtout en raison des problèmes financiers qu'elles entraînent (Olson et Schellenberg, 1986; Walker *et al.*, 1986, May 1990; Ehlers *et al.*, 1993; Deary et McGregor, 1997). Le stress subi dans les emplois agricoles ne touche pas seulement les agriculteurs; il se répercute aussi sur leur vie familiale (Plunkett *et al.*, 1999).

Inondations

Les inondations peuvent créer des conditions favorables à l'explosion des populations de vecteurs porteurs de maladies, notamment les moustiques et les rongeurs. Des proliférations de maladies d'origine hydrique ont été liées à des précipitations intenses, à des inondations et au ruissellement provenant de zones d'élevage de bétail (Millson *et al.*, 1991; Bridgeman *et al.*, 1995; Charron *et al.*, 2003; 2004; Schuster *et al.*, 2005). Dans une étude de cas de référence réalisée dans le sud de l'Alberta, Charron *et al.* (2005) ont trouvé que chaque journée de pluie supplémentaire survenant au cours des 42 jours qui la précèdent augmentait le risque d'hospitalisation pour troubles gastro-intestinaux. Cependant, si le nombre de journées de pluie dépassait 95 p. 100 durant cette même période, les probabilités d'hospitalisation diminuaient, possiblement en raison de la dilution ou de la disparition des agents pathogènes. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus dans une étude de cas réalisée en Ontario (Charron *et al.*, 2005), ce qui semble indiquer que les différences régionales jouent un rôle important lorsqu'il s'agit d'établir l'effet possible du changement climatique sur les maladies d'origine hydrique.

Il est peu probable que les débordements lents des cours d'eau entraînent la mortalité, mais ils ont néanmoins des effets majeurs sur la santé sous forme de problèmes d'ordre psychologique à long terme (Phifer *et al.*, 1988; Phifer, 1990; Durkin *et al.*, 1993; Ginexi *et al.*, 2000; Tyler et Hoyt, 2000) ou de problèmes d'ordre physique dus à la présence de moisissures et de mildiou et du risque d'affections respiratoires associées à des taux d'humidité extrêmement élevés (Square, 1997; Greenough *et al.*, 2001). Le fait de perdre une maison, d'être témoin de sa destruction, d'être évacué sans préavis ou d'être déplacé pendant une longue période est une grande source d'anxiété (Soskolne *et al.*, 2004). Les inondations entraînent des pertes économiques qui, à leur tour, créent du stress et des souffrances pour ceux qui les subissent. Ne pas savoir avec certitude qui va assumer les pertes est également une cause de stress (Soskolne *et al.*, 2004).

Écosystèmes en évolution et maladies à transmission vectorielle

Les hantavirus, transmis à l'homme par l'inhalation d'aérosols qui en contiennent, proviennent des excréments et de la salive des rongeurs (Stephen *et al.*, 1994; Gubler *et al.*, 2001), et causent chez l'homme le syndrome pulmonaire à hantavirus (SPH). La souris sylvestre est le rongeur le plus souvent associé au SPH (Stephens *et al.*, 1994; Glass *et al.*, 2000). Entre 1989 et 2004, 44 cas de SPH ont été diagnostiqués, tous dans l'ouest du Canada et la majorité (27) en Alberta (Agence de santé publique du Canada, 2006). Le taux de mortalité se situe entre 40 p. 100 et 50 p. 100 (Agence de santé publique du Canada, 2001). Les cas de SPH chez l'homme semblent correspondre aux fluctuations annuelles et saisonnières des densités de populations de rongeurs (Mills *et al.*, 1999). Les explosions de populations de rongeurs ont été liées à des hivers humides et doux ainsi qu'à des pluies supérieures à la moyenne suivies de sécheresses et de températures au-dessus de la moyenne (Engelthaler *et al.*, 1999; Gubler *et al.*, 2001), soit des conditions climatiques qui devraient, selon les projections, se manifester de plus en plus fréquemment dans les provinces des Prairies (*voir* la section 2.5).

Le virus du Nil occidental (VNO) est transmis à partir de ses réservoirs aviaires naturels par les moustiques (principalement du genre *Culex*). Les conditions climatologiques qui favorisent le VNO sont les hivers doux combinés à de longues vagues de sécheresse et de chaleur (Epstein, 2001; Huhn *et al.*, 2003). Le moustique Culex peut hiverner dans l'eau stagnante des réseaux d'égout urbains, et la chaleur a tendance à accélérer le développement du virus dans le moustique (Epstein, 2001). Les provinces des Prairies ont enregistré un nombre disproportionné de cas de VNO, soit 91,2 p. 100 des 1 478 cas documentés au Canada en 2003 (Agence de santé publique du Canada, 2004a). En 2004 et 2005, le pourcentage de cas cliniques enregistrés dans ces provinces était respectivement de 36 p. 100 des 25 cas diagnostiqués au Canada, et de 58,6 p. 100 des 210 cas enregistrés au Canada (Agence de santé publique du Canada, 2004b, c). Heureusement, la majorité (80 p. 100) des personnes infectées par le VNO sont asymptomatiques, les symptômes graves (p. ex., coma, tremblements, convulsions, perte de vision) ne se manifestant que chez environ une personne infectée sur 150 (Centers for Disease Control and Prevention, 2005).

Même si l'on s'attend à ce que la maladie de Lyme constitue un important problème de santé publique dans l'est du Canada, les provinces des Prairies demeureront probablement trop sèches pour que la situation y soit comparable. Parmi les autres maladies concernées par le changement climatique ou par le changement des écosystèmes qui l'accompagne et susceptible de présenter un danger pour la santé dans les Prairies, on peut citer l'encéphalite équine de l'Ouest, la rage, la grippe, la brucellose, la tuberculose et la peste (Charron *et al.*, 2003). Ces maladies ont soit un réservoir animal et ont causé des cas connus chez les humains, soit elles ont sévi par le passé dans les provinces des Prairies et sont sensibles aux changements du climat (Charron *et al.*, 2003).

Températures au-dessus de la moyenne

La hausse des températures pourrait faire augmenter le nombre d'intoxications alimentaires, car les étés plus chauds et plus longs entraînent une accélération de la croissance des bactéries, ainsi que la survie de ces espèces et de leurs vecteurs (p. ex., les mouches; Bentham et Langford, 2001; Rose *et al.*, 2001; Hall *et al.*, 2002; D'Souza *et al.*, 2004; Kovats *et al.*, 2004; Fleury *et al.*, 2006). Fleury *et al.* (2006) ont confirmé les cas d'intoxications alimentaires survenus en Alberta et ont trouvé une association positive entre la température ambiante et ces intoxications pour tous les décalages (0 à 6 semaines) et pour chaque degré de dépassement de la température hebdomadaire au-dessus du seuil (0 à 10 °C). Selon le type d'agent pathogène, le risque d'infection relatif est passé de 1,2 p. 100 à 6,0 p. 100.

Des températures plus élevées accroissent la production de polluants secondaires, y compris l'ozone troposphérique (Last *et al.*, 1998; Bernard *et al.*, 2001). Bien que les villes des Prairies présentent des concentrations de polluants atmosphériques relativement faibles (Burnett *et al.*, 1998; Duncan *et al.*, 1998), les niveaux de pollution actuels ont bel et bien une incidence sur les taux de morbidité et de mortalité (Burnett *et al.*, 1997, 1998). Les personnes âgées, celles qui sont déjà atteintes de troubles médicaux et les enfants sont les individus qui courront probablement le plus de risques en raison du changement climatique, de la croissance démographique et de l'augmentation des concentrations de polluants dans les grandes agglomérations (Last *et al.*, 1998). Des températures hivernales plus élevées feront diminuer le nombre de décès liés au froid. En règle générale, il y a plus de gens qui meurent en hiver qu'en été, principalement à cause de maladies infectieuses (p. ex., la grippe) ou de crises cardiaques (McGeehin et Mirabelli, 2001).

Vulnérabilité économique

La vulnérabilité économique au changement climatique touche indirectement la santé et le bien-être. Elle précède souvent les conséquences des phénomènes météorologiques extrêmes sur la santé. Les pertes économiques, en particulier celles qui dépassent les moyens financiers des personnes qui les subissent, représentent une source majeure de stress. La vulnérabilité économique est étroitement liée à la capacité des individus à acheter des assurances, à leur statut socio-économique ainsi qu'à la richesse et aux ressources des collectivités et des gouvernements.

La perte d'une propriété au cours d'un phénomène extrême est coûteuse, car ce ne sont pas toutes les pertes qui sont protégées par une assurance ou des programmes d'aide gouvernementaux (Soskolne *et al.*, 2004). Les stress financiers associés aux catastrophes touchent le plus les familles ayant un faible statut socio-économique et les personnes âgées à revenu fixe, qui sont le moins capables de se permettre des assurances ou d'assumer le coût des dommages et qui sont le plus susceptibles de vivre dans des secteurs vulnérables. Dans l'avenir, ces groupes pourraient être encore moins en mesure d'acheter des assurances et d'assumer le coût de s'adapter aux phénomènes météorologiques extrêmes. Les programmes d'aide aux sinistrés victimes de sécheresses tentent de couvrir les pertes de récoltes non assurées, mais ils ne couvrent que rarement les investissements faits au début de la saison, ce qui augmente la dette personnelle. L'incapacité à rembourser une dette a tendance à susciter des pressions financières accrues, qui causent à leur tour de la dépression, du stress et même des suicides (Soskolne *et al.*, 2004).

La vulnérabilité de la santé de certains segments de la société à ces menaces varie en fonction de leur démographie, de l'emplacement et des infrastructures de la collectivité, de leur état de santé et de circonstances régionales, socio-économiques ou culturelles (Smit *et al.*, 2001). Ces populations vulnérables assumeront probablement une part disproportionnée du fardeau des coûts économiques futurs et des conséquences néfastes au chapitre de la santé. Le tableau 11 présente un résumé de ces diverses populations et explique le danger que les effets sur la santé sensibles au climat représentent pour elles.

Il y aura probablement, pour le système public de soins de santé, des coûts supplémentaires qui seront attribuables aux coûts des traitements (p. ex., les médicaments ou les visites aux salles d'urgence) ou aux coûts nécessaires pour circonscrire diverses maladies, pour le dépistage, pour le contrôle et la surveillance des collectivités et pour les interventions.

4.6 ÉNERGIE

Le changement climatique aura un effet sur l'industrie pétrolière dans les provinces des Prairies, car il aura une incidence sur les activités d'exploration et de production, sur la transformation et le raffinage, et sur le transport, l'entreposage et la livraison. Les principales variables climatiques préoccupantes sont la hausse des températures, le changement dans les régimes de précipitations et les phénomènes extrêmes (Huang *et al.*, 2005). Le facteur le plus préoccupant est, et restera, la rareté de l'eau, car la production actuelle de pétrole, et même d'une certaine quantité de gaz naturel, exige des quantités importantes de cette ressource (Bruce, 2006).

Dans le nord de la région des Prairies, la plupart des programmes d'exploration et de forage sont réalisés en hiver, lorsqu'il est facile de traverser les zones où les sols et les terres humides sont gelés et que les chemins d'hiver fournissent des voies comparativement peu coûteuses permettant aux transports lourds de traverser le territoire boréal. Alors que des hivers plus doux et plus courts rendront peut-être le travail à l'extérieur moins dangereux du point de vue de la santé et de la sécurité, ce modeste avantage sera annulé par les augmentations des coûts découlant du raccourcissement des saisons de travail hivernal.

Le réchauffement cause déjà, dans de nombreux secteurs du Nord, une dégradation substantielle du pergélisol (*voir* le chapitre 3; Majorowicz *et al.*, 2005; Pearce, 2005) qui entraînera une instabilité du terrain, un effondrement du sol et des glissements de pente. Ces effets, combinés à une fréquence accrue des phénomènes climatiques extrêmes, créeront des problèmes pour les infrastructures, comme les fondations des bâtiments, les réseaux routiers et de pipelines, susceptibles d'entraîner des ruptures de pipelines et des coûts supplémentaires pour réinstaller les pipelines actuels dans des endroits plus stables (Huang *et al.*, 2005).

Étant donné que les étés seront plus longs et plus chauds, les possibilités de fuites par vaporisation augmenteront dans le secteur du raffinage. Il faudra donc disposer d'une capacité de refroidissement plus élevée au moment justement où les apports locaux et régionaux en eau – un liquide de refroidissement clé – se réchaufferont au-delà des pics de température recueillis jusqu'ici. Ces changements pourraient perturber les activités des raffineries pour des raisons de sécurité, d'environnement ou de santé, toutes susceptibles d'entraîner des pertes économiques (Huang *et al.*, 2005).

TABLEAU 11 : Populations des Prairies ayant une plus grande vulnérabilité au changement climatique.

Populations vulnérables	Caractéristiques de l'augmentation de la vulnérabilité	Températures plus élevées et vagues de chaleur	Sécheresses	Phénomènes hydrologiques extrêmes	Changements dans les écosystèmes
Personnes âgées	- Plus susceptibles de souffrir déjà de troubles médicaux (*voir* ci-dessous) - Isolement social et réseaux sociaux moins nombreux - Plus sujettes aux intoxications alimentaires - Revenus fixes - Les gens âgés de plus de 50 ans courent plus de risques de développer des cas graves de virus du Nil occidental	x	x	x	x
Enfants	- Les systèmes corporels immatures et la croissance rapide peuvent accroître la toxicité et la pénétration des polluants, diminuer la capacité de thermorégulation et accroître la vulnérabilité aux intoxications alimentaires et aux maladies d'origine hydrique - L'exposition par unité de poids corporel est supérieure à celle des adultes - Dépendent des fournisseurs de soins adultes - Capacité d'adaptation plus faible	x	x	x	
Personnes souffrant déjà de troubles médicaux	- Les troubles cardiovasculaires et respiratoires augmentent les risques - Les médicaments diminuent la capacité de thermorégulation et la tolérance à la chaleur - Les maladies mentales telles que la schizophrénie, l'abus d'alcool et la démence sont des facteurs de risque durant les vagues de chaleur - La mobilité réduite et le besoin de soins médicaux réguliers rendent leur évacuation plus difficile	x	x	x	
Personnes de statut socio-économique (SSE) inférieur	- Ce SSE est associé à un état de santé général plus faible - Ces gens ont moins de contrôle sur les circonstances de la vie, en particulier les événements stressants, et sont moins capables d'améliorer leur revenu - Ils sont susceptibles d'habiter dans des régions présentant des risques plus élevés - Il y a une augmentation de la mortalité liée à la chaleur dans les quartiers plus pauvres - Moins susceptibles de pouvoir prendre des mesures de rétablissement ou d'adaptation - L'itinérance est souvent associée à des troubles de santé mentale sous-jacents (*voir* ci-dessus)	x	x	x	
Membres des Premières nations	- Plus susceptibles d'avoir un SSE inférieur (*voir* ci-dessus) - Moyens de subsistance traditionnels menacés - Infrastructures et capacité d'adaptation plus faibles - Accès limité aux services médicaux	x	x	x	x

Production d'électricité à partir de charbon et de gaz naturel

La production d'électricité dans des centrales alimentées au charbon crée de grandes quantités de chaleur perdue qui est dispersée au moyen d'eau de refroidissement provenant de sources avoisinantes. La détérioration de la qualité de l'eau de refroidissement (p. ex., à cause d'une augmentation des solides dissous) crée des problèmes d'ingénierie dans les systèmes de refroidissement des centrales alimentées au charbon, parce que soit l'eau doit être traitée avant utilisation, soit l'usine doit être munie d'un système empêchant l'accumulation de tartre (Demadis, 2004).

Dans la région des Prairies, la baisse de la quantité d'eau due au changement climatique réduira l'approvisionnement des centrales en eau de refroidissement durant les périodes de sécheresse ou au cours d'autres périodes de faible débit. Lorsque l'approvisionnement en eau de refroidissement est bas les centrales doivent réduire leurs activités, ce qui se traduit par des pertes financières quotidiennes, et l'eau utilisée pour le refroidissement sera peut-être retournée au bassin hydrographique d'origine, à des températures assez élevées pour endommager les écosystèmes aquatiques. Les répercussions environnementales de l'eau de refroidissement seront aggravées par les hausses de température résultant du changement climatique (Jensen, 1998).

Production d'hydroélectricité

Environ 95 p. 100 de l'électricité produite au Manitoba provient de l'énergie hydrique renouvelable (Manitoba Science, Technology, Energy and Mines, 2007). En Alberta et en Saskatchewan l'hydroélectricité compte pour une partie modeste, mais importante de la capacité de production d'électricité. Pour prévoir la capacité future de production d'hydroélectricité, il faut tenir compte des débits printaniers et estivaux moyens, lesquels décroissent dans la partie ouest des Prairies à cause de la diminution de l'eau de fonte des glaciers (Demuth et Pietroniro, 2003) et des accumulations globales de neige (Leung et Ghan, 1999; Lapp *et al.*, 2005).

Exploitations de sables bitumineux

Les exploitations de sables bitumineux du nord de l'Alberta prennent de l'expansion à un rythme effarant. Elles produisent actuellement plus d'un million de barils de pétrole brut synthétique par jour, et l'on prévoit que la production sera de trois millions de barils par jour d'ici 2020 (Alberta Energy, 2005). Les investissements prévus dans la récupération des sables bitumineux sont de 125 milliards de dollars pour la période de 2006 à 2015 (Office national de l'énergie, 2006). Or, l'exploitation minière des sables bitumineux ainsi que l'extraction et le raffinage du pétrole sont des procédés qui exigent beaucoup d'eau et d'énergie. Selon les meilleures estimations courantes, les installations qui produisent du pétrole brut synthétique ou du bitume enrichi nécessitent de 2 à 4,5 barils d'eau pour le traitement d'un seul baril de pétrole (Griffiths *et al.*, 2006). Si l'on suppose que ce rapport demeurera constant à l'avenir, la production de plus de 3 millions de barils par jour d'ici 2010 exigera l'utilisation d'entre 6 et 13,5 millions de barils d'eau par jour.

Des témoignages présentés au cours des audiences de l'Energy and Utilities Board de l'automne 2003 portaient sur les évaluations environnementales de deux usines de transformation des sables bitumineux. Au cours de ces présentations, on a avancé 1) qu'aucune des usines ne pourrait soutenir ses activités durant les périodes de débits d'étiage de la rivière Athabasca sans endommager l'écologie aquatique et que 2) les effets du changement climatique sur les apports en eau réduiraient davantage ces débits d'étiage et en prolongeraient la durée. Dans une récente analyse des tendances de la demande en eau due aux projets d'exploitation de sables bitumineux et de la disponibilité de l'eau dans un contexte dominé par le changement climatique, Bruce (2006, p. 13-14) a conclu que :

« … même lorsqu'on applique les scénarios de prélèvements minimums d'eau pour les projets d'exploitation de sables bitumineux, il y aurait eu au cours des 25 dernières années dix occasions où les débits d'étiage de la rivière Athabasca auraient été insuffisants pour éviter des répercussions à court terme sur les écosystèmes. En ce qui concerne les répercussions à long terme, les restrictions recommandées à l'égard des prélèvements destinés à ces projets indiquent que les débits d'étiage n'auraient pas satisfait tous les besoins des aménagements durant 34 des 35 dernières années. » (traduction)

Les exploitations de sables bitumineux se trouvent dans des régions de la forêt boréale qui sont riches en eau. Il faut réaliser de grands ouvrages de génie civil pour assécher des régions et stocker l'eau emmagasinée auparavant dans les terres humides. Il est également habituel de construire de vastes parcs à résidus pour les mines à ciel ouvert. Les épisodes de précipitations extrêmes pourraient causer des débordements et des déversements de l'eau contaminée et de l'eau douce emmagasinée. Les parcs à résidus contiennent des acides naphténiques, un polluant toxique et corrosif (McMartin *et al.*, 2004) produit en grandes quantités par les procédés d'extraction et d'enrichissement des sables bitumineux. Ces acides sont persistants dans l'eau, mais leur présence et leur sort n'ont été que peu étudiés (Headley et McMartin, 2004). Ce polluant pourrait toucher jusqu'à 25 000 km^2 d'aménagements consacrés à l'exploitation des sables bitumineux et une superficie encore beaucoup plus grande, dans les cas de fuites ou de débordements des parcs à résidus dus à des phénomènes météorologiques extrêmes.

Sources d'énergie renouvelable et changement climatique

Peu de recherches ont été faites sur les répercussions possibles du changement climatique sur le secteur des énergies renouvelables, qui inclut l'énergie solaire et éolienne, l'échange de chaleur géothermique et la production d'hydroélectricité. Le changement climatique n'aura probablement pas d'effet substantiel sur la production d'énergie solaire, à moins que la couverture nuageuse ne subisse d'importants changements.

La production d'énergie éolienne présente un bon potentiel dans les provinces des Prairies, car les vents soutenus y sont fréquents. D'ailleurs, le sud de l'Alberta et le sud-ouest de la Saskatchewan possèdent déjà des aménagements considérables pour la production d'énergie éolienne et en planifient d'autres. Il est possible que la vitesse des vents soutenus change avec le réchauffement du climat, car les gradients de températures entre l'équateur et le pôle seront réduits. Une étude réalisée aux États-Unis (Breslow et Sailor, 2002) a prévu une petite baisse des vents dans la partie continentale des États-Unis.

4.7 TOURISME ET LOISIRS

Une étude des répercussions possibles du changement climatique sur les visites effectuées dans les parcs nationaux du sud de la forêt boréale (p. ex., le parc national de Prince-Albert, en Saskatchewan) semble indiquer qu'elles augmenteraient de 6 à 10 p. 100 dans les années 2020, de 10 à 36 p. 100 dans les années 2050, et de 14 à 60 p. 100 dans les années 2080, si l'on se base sur la relation qui existe entre la température et les journées-visiteurs (Jones et Scott, 2006). Le principal impact du changement climatique a été d'accroître la longueur des saisons de transition (c.-à-d. le printemps et l'automne). Dans les régions de prairies, la biodiversité subira probablement les effets des changements de l'habitat et de la présence d'espèces envahissantes. Le long de la limite sud de la forêt boréale, les conditions climatiques entraîneront une évolution de la végétation vers des espèces plus résistantes aux sécheresses, en particulier des graminées (Thorpe *et al.*, 2001; Hogg et Bernier, 2005). À certains endroits, la perte de peuplements forestiers et d'autres changements de la végétation sont inévitables.

Les changements dans la végétation influeront sur les habitats de la faune et apporteront des modifications aux aires de répartition des espèces (Gitay *et al.*, 2002). Les espèces qui présentent un intérêt n'habiteront peut-être plus les zones protégées où elles étaient traditionnellement observées et chassées. Par contre, une augmentation des incendies de forêt dans de nouvelles conditions climatiques (Flannigan *et al.*, 2005) pourrait accroître la superficie de l'habitat de certaines espèces, telles que le cerf et l'orignal, qui exploitent des forêts de début et milieu de succession. Les espèces sauvages les plus importantes aux fins d'activités comme l'observation et la chasse s'ajusteront rapidement aux changements des conditions environnementales. Parmi les effets majeurs touchant la chasse, la perte possible d'habitat pour la sauvagine à cause de l'assèchement des étangs des Prairies se traduirait par une réduction de 22 p. 100 de la productivité des canards (Scott, 2006). Les collectivités qui dépendent de ces activités pourraient donc voir chuter leurs recettes provenant du tourisme (Williamson *et al.*, 2005).

La baisse du niveau des lacs et des rivières, surtout du milieu à la fin de l'été (*voir* la section 3.1), pourrait réduire les possibilités de loisirs aquatiques : natation, pêche, navigation de plaisance, excursions en canot et activités en eau vive. Une fonte précoce et rapide de la neige au printemps pourrait empêcher les activités aquatiques printanières si les niveaux sont élevés ou les conditions de l'eau dangereuses. Les changements des températures et des niveaux d'eau auront une

incidence sur la répartition des espèces de poissons (Xenopoulos *et al.*, 2005). Les printemps plus doux entraîneraient la fonte précoce de la glace sur les lacs, limiteraient la saison de la pêche sur la glace et augmenteraient la probabilité de conditions de glace dangereuses.

Dans les parcs des Rocheuses de l'Alberta, le changement climatique a déjà fait migrer vers de plus hautes altitudes la végétation et la faune sauvage qui s'en nourrit (Scott *et al.*, 2007), et cet effet s'accélérera avec le réchauffement à venir. En utilisant un certain nombre de scénarios de changement climatique, Scott et Jones (2005) et Scott *et al.* (2007) ont étudié les répercussions possibles du changement climatique sur les tendances des visites dans les parcs nationaux de Banff et des Lacs-Waterton, respectivement. Ils ont trouvé que le changement climatique pourrait faire augmenter les visites à Banff de 3 p. 100 dans les années 2020, et de 4 à 12 p. 100 dans les années 2050, selon le scénario utilisé. Pour le parc des Lacs-Waterton, les hausses prévues sont de 6 à 10 p. 100 dans les années 2020 et de 10 à 36 p. 100 dans les années 2050. Dans les deux cas, les augmentations sont dues surtout aux hausses des températures. Cependant, à Banff, l'industrie du ski pourrait subir des répercussions fâcheuses si les chutes de neige diminuent. Dans les zones d'altitude inférieure à 1 500 mètres, la saison de ski pourrait avoir raccourci de 50 à 57 p. 100 dans les années 2020, et de 66 à 94 p. 100 dans les années 2050, bien que la fabrication de neige artificielle puisse aider à atténuer ces répercussions (Scott et Jones, 2005). Les zones de ski situées à plus haute altitude seraient beaucoup moins touchées. La réduction de la quantité de neige et le raccourcissement de la saison influeront également sur la période et le nombre d'occasions où il serait possible de pratiquer le ski de fond, la raquette et la motoneige (Nicholls et Scott, sous presse).

5 ADAPTATION ET CAPACITÉ D'ADAPTATION

Pour établir et maintenir des collectivités et une économie à la limite nord des secteurs agricoles et forestiers des Prairies, dans des conditions de climat sec variable et loin des marchés d'exportation, il a fallu faire preuve d'un degré considérable d'adaptation au climat. Le maintien du développement économique et social dans un contexte dominé par le changement climatique se fera en utilisant et en renforçant les capacités d'adaptation acquises par la région. La capacité d'adaptation est un attribut qui donne une indication de l'aptitude d'un système ou d'une région à s'adapter efficacement au changement. Un système doté d'une grande capacité d'adaptation pourrait donc faire face aux changements du climat, et peut-être même en tirer avantage, tandis qu'un système de faible capacité d'adaptation en souffrirait probablement (*voir* le chapitre 2).

Dans la région, presque toutes les mesures d'adaptation ont été adoptées en réaction à des phénomènes climatiques particuliers et à des écarts par rapport aux conditions moyennes. L'histoire des prairies après la colonisation est ponctuée de réactions sociales et institutionnelles aux sécheresses et, dans une moindre mesure, aux inondations. La planification en fonction d'une évolution des conditions environnementales constitue un modèle de politiques et de gestion relativement nouveau. Dans de nombreux cas, les mesures d'adaptation prises actuellement sont l'œuvre d'institutions et d'individus qui ont ajusté leurs activités afin d'empêcher que les répercussions d'événements climatiques récents ne se répètent, ce qui signifie implicitement que l'on suppose que ces événements se reproduiront avec peut-être une fréquence ou une intensité plus grandes en raison du changement climatique.

Les ajustements possibles aux pratiques, aux politiques et aux infrastructures sont si nombreux qu'on ne peut traiter ici que de catégories et d'exemples. Aux fins de la présente évaluation de l'adaptation et de la capacité d'adaptation, les auteurs établissent une distinction entre le rôle des institutions officielles et non officielles et celui des individus, ainsi qu'entre les réactions aux répercussions d'événements historiques et, d'une part, l'acquisition d'une capacité d'adaptation, d'autre part, la conception de méthodes d'anticipation de changements climatiques à venir.

5.1 INSTITUTIONS OFFICIELLES ET GOUVERNANCE

Les institutions imposent un ensemble de règlements, de règles, de processus et de ressources qui peuvent soit soutenir, soit miner la capacité des gens à faire face à des défis tels que le changement climatique (O'Riordan et Jager, 1996; O'Riordan, 1997; Willems et Baumert, 2003). Les stratégies de gestion des risques qui augmentent les ressources et la capacité d'adaptation dans une perspective d'avenir durable sont des facteurs de toute première importance pour la recherche des mesures susceptibles de réduire la vulnérabilité au changement climatique (Kasperson et Kasperson, 2005). Les institutions de gouvernance et les systèmes politiques et administratifs jouent un rôle clé dans le développement et le renforcement de la capacité d'adaptation, dans le soutien des efforts privés et dans la mise en œuvre de politiques qui attribuent des ressources de manière cohérente (Hall, 2005). Ces efforts peuvent exiger des dispositions institutionnelles différentes de celles qui sont formulées dans le but de répondre aux problèmes de nature politique classiques. Prendre les mesures nécessaires qui s'imposent vis-à-vis du changement climatique exige de transcender les limites traditionnelles des secteurs, des problèmes et de la politique, et de composer avec la complexité et l'incertitude (Homer-Dixon, 1999; Diaz *et al.*, 2003; Willows et Connell, 2003; Diaz et Gauthier, 2007).

Bien qu'elles soient dirigées par des innovateurs prêts à courir des risques et par des précurseurs, les mesures d'adaptation seront généralement appliquées lentement, et la capacité d'adaptation se développera elle aussi lentement, à moins que tous les paliers d'administration publique et les autres instances décisionnaires n'y participent. Faire face aux impacts du changement climatique exige

plus que le recours à une multitude de mesures d'adaptation hétéroclites, cela exige plutôt une réaction structurée, qui permet de déterminer, de prévenir et de résoudre les problèmes créés par ces impacts. Des cadres stratégiques peuvent contribuer à l'adoption d'une telle réaction systématique et efficace.

Les documents stratégiques provinciaux qui offrent des directives pour faire face au changement climatique (p. ex., Albertans and Climate Change: Taking Action) portent surtout sur les efforts de la réduction des émissions. Ils mentionnent certes l'adaptation, mais manquent de précisions sur la nature des répercussions prévues ou sur les étapes à suivre pour s'y adapter. Dans les provinces des Prairies, les programmes sont très avancés en Alberta, où le gouvernement provincial a créé une équipe chargée de l'adaptation au changement climatique qui a amorcé des évaluations aux échelles provinciale et multisectorielle de la vulnérabilité et des stratégies d'adaptation (Barrow et Yu, 2005; Davidson, 2006; Sauchyn *et al.*, 2007). Dans de nombreux cas, on pourrait réaliser et appuyer une adaptation importante en apportant des ajustements aux programmes et mécanismes d'élaboration des politiques existants. Dans le secteur agricole, par exemple, le Cadre stratégique pour l'agriculture, le Programme national d'approvisionnement en eau, la planification agroenvironnementale à la ferme et divers autres programmes et politiques fédéraux et provinciaux peuvent à la fois intégrer des options d'adaptation et fournir des moyens d'améliorer la capacité d'adaptation.

Les discussions sectorielles suivantes décrivent le rôle des institutions et du gouvernement dans l'amélioration de la capacité d'adaptation et la promotion de la mise en œuvre de mesures d'adaptation; elles sont fondées sur des exemples constatés et sur des scénarios futurs possibles.

5.1.1 Gestion des ressources en eau

Il est tout à fait possible d'améliorer la capacité d'adaptation des institutions dans le secteur des ressources en eau en apportant des changements à la gestion des bassins hydrographiques et des réservoirs (Wood et al., 1997). Par exemple, les règles de fonctionnement des systèmes de gestion de la ressource hydrique, lesquels s'avéreront d'une importance cruciale en raison du ruissellement printanier précoce et de la demande d'eau accrue attendue en été, pourraient être ajustées de façon à en améliorer et l'efficience et la capacité. Des changements aux procédures, comme irriguer seulement après le coucher du soleil et utiliser des méthodes d'irrigation plus efficaces (*voir* la figure 16), peuvent aider à compenser la demande en eau croissante provenant d'autres sources (Bjornlund *et al.*, 2001). L'augmentation des efforts de recyclage de l'eau ou l'attribution de permis aux industries, du moment que ces dernières ont adopté des pratiques de gestion optimales et des normes de recyclage de l'eau offrent d'autres occasions d'introduire des changements de procédures (Johnson et Caster, 1999). Plusieurs régions ont déjà reconnu les avantages que présente une gestion des bassins versants à caractère holistique, et l'ont d'ailleurs adoptée (Serveiss et Ohlson, 2007), et des occasions s'offrent aux instances responsables de la gestion des bassins versants de mettre en place de telles mesures d'adaptation au changement climatique à l'échelle de la collectivité (Crabbé et Robin, 2006).

Une étude comparative concernant deux bassins hydrographiques situés en terres sèches, soit le bassin de la rivière Saskatchewan-Sud (BRSS), dans les Prairies canadiennes, et le bassin de la rivière Elqui, dans le centre-nord du Chili, a été entreprise afin de mieux

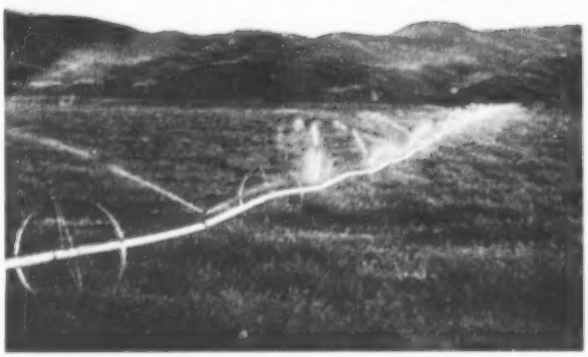


FIGURE 16 : Irrigation dans les Prairies (vallée de la rivière Frenchman, dans le sud-ouest de la Saskatchewan).

comprendre le rôle des institutions régionales dans la formulation et la mise en œuvre de mesures d'adaptation liées à la gestion des ressources en eau (www.parc.ca/mcri). Les résultats ont indiqué que les collectivités considèrent les risques liés au climat comme un problème d'envergure et déploient des efforts importants pour les gérer. L'étude soulignait également que les risques d'ordre climatique sont compliqués par des stimuli de nature non climatique qui augmentent le degré de vulnérabilité et que les collectivités perçoivent des lacunes dans la capacité des institutions à gérer les affaires publiques de façon à réduire la vulnérabilité des populations rurales. Une étude de la participation locale à la gestion de l'eau dans le sous-bassin de la rivière Oldman du BRSS (Stratton *et al.*, 2004; Stratton, 2005) conclut que les mesures d'adaptation ont été plus réactionnelles qu'anticipatoires et qu'elles ont été ciblées surtout sur l'approvisionnement en eau, plutôt que sur la demande. Dans le cadre d'un autre projet mené dans le même bassin, les intervenants ont fait preuve d'une prise de conscience vis-à-vis des ressources en eau et ont eu recours à des mesures d'adaptation efficaces aux pénuries d'eau (Rush *et al.*, 2004). Il reste toutefois des défis importants à relever quant aux attitudes face à la probabilité que le changement climatique ait des répercussions sur les approvisionnements en eau destinés à tous les utilisateurs, à la protection à long terme de ces ressources et à l'acceptation des mesures de conservation de l'eau en tant que méthode d'adaptation. Les politiques et la législation pourraient fournir des instruments économiques et réglementaires souples en vue de mieux gérer la variabilité et la rareté croissantes de l'eau, d'encourager une efficacité accrue, d'accroître la capacité d'adaptation au changement climatique et de faciliter entre les utilisateurs de l'eau des compromis qui reflètent leurs divers niveaux de vulnérabilité à la rareté de l'eau.

Étant donné les incertitudes quant à l'ordre de grandeur et à la vitesse du changement climatique, il faudra que les procédures de gestion et de planification soient assez souples pour permettre de réagir aux nouvelles connaissances sur les répercussions prévues. Ces procédures doivent également impliquer les intervenants locaux afin de déterminer les vulnérabilités et les méthodes d'adaptation appropriées à cette échelle. Ces principes ont agi à titre de critères dans le cadre de la stratégie « Water for Life » de l'Alberta (Government of Alberta, 2003), aux termes de laquelle cette province cherche à mettre en place une nouvelle approche à la gestion de l'eau assortie de mesures particulières visant à garantir

des approvisionnements en eau fiables et de bonne qualité en vue d'une économie durable. Parmi les réformes institutionnelles prises en considération, on trouve l'utilisation d'instruments économiques, de pratiques de gestion optimales et de plans de gestion des bassins hydrographiques qui font appel aux collectivités locales pour accroître de 30 p. 100 l'efficacité et la productivité d'utilisation de l'eau tout en donnant des résultats sur les plans social, économique et environnemental. La stratégie prévoit que ces instruments seront adoptés volontairement et que l'eau des utilisateurs actuels sera réattribuée de façon à satisfaire la demande croissante d'autres secteurs économiques. Elle garantit en outre que les droits existants seront respectés et que personne ne sera forcé d'abandonner des quantités d'eau. La stratégie « Water for Life » comprend, dans le cadre du plan de gestion à long terme, une disposition visant l'établissement de cartes de risques d'inondations et la création de systèmes d'avertissement pour les collectivités à risque.

Les sécheresses préoccupent davantage les villes des provinces des Prairies que les centres urbains des autres régions du pays. En réaction à la sécheresse de 1988, la Ville de Regina a élaboré des plans d'intervention d'urgence en cas de sécheresse qui incluent des programmes de conservation de l'eau et l'accroissement de la capacité de traitement et de livraison de l'eau (Cecil *et al.*, 2005). Les autres villes des Prairies n'ont pas encore institué de tels plans d'intervention en cas d'urgence (Wittrock *et al.*, 2001).

5.1.2 Gestion des écosystèmes

Gérer le capital naturel de façon à ce que les écosystèmes déjà soumis à un stress continuent d'être avantageux à mesure que le climat évolue pose des défis aux gouvernements et aux industries primaires. L'hypothèse que les zones protégées sont stables sur le plan biogéographique se révélera faussée, et la planification de la protection de la biodiversité devra peut-être plutôt se concentrer sur la protection « d'une cible mobile qui soit représentative au sens écologique » (Scott et Lemieux, 2005). Il serait plus approprié de viser à accroître la résistance des écosystèmes que de chercher à les stabiliser (Halpin, 1997). Une gestion proactive des perturbations et des habitats grâce à des stratégies d'intervention propres aux espèces est peut-être la seule solution pour « reconfigurer les zones protégées en fonction des nouvelles conditions climatiques » (Lopoukhine, 1990; Scott et Suffling, 2000). Dans les parcs nationaux du Canada, il pourrait être matériellement impossible d'appliquer une stratégie de maintien du paysage, quels qu'en soient le pour et le contre au sens philosophique (Scott et Suffling, 2000). Dans le nouveau climat, certaines zones ne pourront plus assurer le maintien des espèces et des écosystèmes qu'elles avaient pour objet de protéger à l'origine (Pernetta, 1994). Par exemple, le parc national Wapusk, sur les rives de la baie d'Hudson, au Manitoba, a été créé pour protéger les ours blancs lorsque les femelles mettent bas leurs petits (Scott *et al.*, 2002); or, ces ours se trouvent à la limite sud de leur territoire et sont peut-être condamnés à disparaître à mesure que l'état des glaces se détériorera (*voir* le chapitre 3).

La gestion des écosystèmes naturels peut également exiger de remettre en question les politiques qui découragent l'introduction d'espèces étrangères et d'élaborer des stratégies d'introduction de nouvelles espèces afin de maintenir la biodiversité et d'accroître la résistance des écosystèmes (p. ex., la « redondance » des espèces; Malcolm et Markham, 1996). Les politiques actuelles ne favorisent pas l'introduction d'espèces étrangères (p. ex., Alberta Reforestation Standards Science Council, 2001; Alberta Sustainable Resource Development, 2005; Conservation Manitoba, 2005), en partie parce qu'elles supposent qu'il est encore possible de maintenir les assemblages végétaux actuels. Toutefois, si les espèces indigènes ne peuvent pas se régénérer, les options stratégiques ne seront alors pas évidentes. L'introduction d'espèces d'arbres étrangères ne semble pas faire l'objet d'interdictions juridiques, et l'on en plante fréquemment sur des terres franches. Le gouvernement de la Saskatchewan (Government of Saskatchewan, 2005) fait une grande promotion de l'agrosylviculture dans le but de convertir, d'ici 20 ans, 10 p. 100 de l'ensemble des terres arables de la province en terres forestières. La majeure partie de la superficie ainsi convertie devrait se trouver à la bordure sud de la forêt boréale, de sorte que des arbres exotiques pourraient envahir la forêt indigène. Une autre option de gestion, qui pourrait être matière à controverse, consiste à « accélérer la récolte avant perte » (Carr *et al.*, 2004). La récolte du bois serait ainsi accélérée, si nécessaire, pour porter au maximum l'utilisation de cette ressource à récolte unique provenant d'une forêt qui ne pourra probablement pas se régénérer.

5.1.3 Agriculture

Par le passé, les gouvernements fédéral et provinciaux ont réagi aux sécheresses en créant des programmes de protection du revenu pour en compenser les répercussions socio-économiques fâcheuses (Wittrock et Koshida, 2005) et, récemment, en élaborant des plans de gestion des sécheresses. Ces programmes ont inclus jusqu'à présent l'assurance-récolte, le Programme de l'aménagement hydraulique rural, le Programme national d'approvisionnement en eau, le Compte de stabilisation du revenu net (CSRN), le Programme canadien de stabilisation du revenu agricole (PCSRA), le Programme canadien du revenu agricole (PCRA) et le Programme de report d'impôt sur le revenu. L'assistance consiste notamment à aider les producteurs à avoir accès à de nouvelles ressources en eau, à contrebalancer les coûts liés à la production de récoltes et à reporter l'impôt sur le revenu provenant de la réforme des troupeaux. Les réclamations d'assurance-récolte et l'aide provenant des programmes de protection du revenu ont monté en flèche durant les années de sécheresse 2001 et 2002, en particulier en Alberta et en Saskatchewan (Wittrock et Koshida, 2005).

Les programmes de conservation des sols et de l'eau font partie intégrante de l'adaptation du secteur agricole au climat sec et variable des Prairies (Sauchyn, 2007). Avant même la colonisation des provinces des Prairies, un réseau de fermes expérimentales a été établi entre les années 1890 et le début des années 1900 dans le but d'instaurer des pratiques d'aridoculture. Les premiers programmes du gouvernement canadien visant à combattre la détérioration des sols, dont l'Administration du rétablissement agricole des Prairies (ARAP), ont été créés en réaction aux événements désastreux des années 1930, alors que les répercussions des sécheresses ont été aggravées par une colonisation presque uniforme des terres agricoles qui ne tenait pas compte des variations dans la sensibilité des pédopaysages et dans la capacité du climat et du sol de permettre la croissance des récoltes.

Parmi les récentes initiatives institutionnelles visant à réduire la détérioration des sols, on compte la partie du Plan vert agricole ayant trait aux sols, le Programme national de conservation des sols (PNCS), le Programme national de gérance agroenvironnementale, l'Initiative nationale relative à la planification environnementale à la ferme et le programme de couverture végétale. Dans les provinces des Prairies, l'un des éléments majeurs du PNCS a été le Programme d'établissement d'une couverture végétale permanente (PÉCVP; Vaisy *et al.*, 1996). Le premier PÉCVP a été complètement utilisé en

quelques mois, et 168 000 hectares de terres marginales ont été retirés de la production annuelle. En 1991, une prolongation de ce programme a permis la conversion d'une superficie supplémentaire de 354 000 hectares. Le PÉCVP représentait une politique d'adaptation qui a réduit la sensibilité au climat sur une grande superficie, même s'il ne s'agissait pas là d'un objectif formel du programme.

5.1.4 Industrie forestière

Les mécanismes qui encouragent l'aménagement forestier durable au Canada devraient aider à accroître la capacité d'adaptation du secteur forestier, même s'ils ne concernent pas formellement l'adaptation au changement climatique. Ces mécanismes comprennent les critères de gestion durable des forêts élaborés par les membres du Conseil canadien des ministres des forêts (Conseil canadien des ministres des forêts, 2003) ainsi que les procédures de certification qui indiquent que les produits forestiers proviennent d'un territoire forestier géré de façon durable.

Si les pratiques actuelles de repeuplement ou de régénération naturelle échouent, il pourrait devenir de plus en plus difficile de régénérer un milieu forestier, quel qu'il soit, à mesure que le climat deviendra plus chaud et plus sec (Hogg et Schwarz, 1997). La perte de forêts risque donc d'être irréversible si l'adaptation est lente ou seulement réactionnelle. Une adaptation proactive pourrait faire appel à l'introduction d'espèces étrangères, bien que cette option présente également un risque d'hybridation ou d'importation d'espèces ou d'agents pathogènes importuns associés aux espèces étrangères. L'introduction d'espèces étrangères à potentiel d'hybridation nul ou peu envahissantes semble être l'option d'adaptation la plus réversible, mais ni sa réversibilité ni le succès de la naturalisation ne sont garantis.

5.1.5 Santé et bien-être

La protection des citoyens les plus vulnérables contribuera beaucoup à sauvegarder la santé et le bien-être des habitants des provinces des Prairies dans un milieu touché par le changement climatique. Certaines mesures d'adaptation prises dans d'autres secteurs atténueront directement les conséquences de ce changement sur la santé. Par exemple, une mesure d'adaptation aux sécheresses adoptée avec succès par le secteur agricole diminuera le stress et les contraintes financières subis par les travailleurs de ce secteur, leurs familles et leurs collectivités. Les systèmes de soins de santé sont un élément caractéristique de la société canadienne, et il se peut que l'on n'ait qu'à modifier les mesures de contrôle ou de surveillance de ces systèmes pour les rendre plus applicables dans le contexte du changement climatique. Si l'on acquiert la capacité d'établir un lien entre les effets sur la santé actuels liés au climat (p. ex., les maladies respiratoires) et des variables météorologiques et climatiques, les chercheurs pourront mieux déterminer comment les changements du climat pourraient agir sur les tendances des maladies dans l'avenir. Le tableau 12 présente d'autres lacunes sur le plan des recherches et des besoins en matière de capacités.

Les coûts associés à l'aide aux sinistrés et aux programmes d'aide offerts durant et après les catastrophes représenteront une dépense croissante pour les gouvernements, à moins que des mesures d'adaptation efficaces ne soient mises en œuvre (Soskolne *et al.*, 2004).

TABLEAU 12 : Exemples de lacunes sur le plan des recherches et capacités supplémentaires requises pour réduire les répercussions particulières sur la santé.

Répercussions sur la santé d'incidence climatique	Capacités supplémentaires requises ou lacunes sur le plan des recherches
Stress ou anxiété liés aux sécheresses chez les travailleurs agricoles	Relier la santé et le bien-être aux statistiques sur l'économie agricole et l'emploi dans ce secteur
Maladies ou états liés à la poussière	Éducation et sensibilisation des populations à risque; lier les concentrations de poussière à des variables météorologiques
Maladies ou états liés aux feux de friche irrépressibles	Incidence de base et taux de prévalence des effets connus sur la santé
Maladies d'origine hydrique et maladies dues à la qualité médiocre de l'eau	Lier la qualité de l'eau, les données sur les épidémies et les prescriptions de faire bouillir l'eau à des variables météorologiques à l'échelle locale ou distale (p. ex., échelle du bassin hydrographique)
Températures moyennes croissantes et intoxications alimentaires	Lier les intoxications alimentaires et les pathogènes alimentaires (le long de la chaîne de transformation des aliments) à des variables météorologiques
Pollution de l'air et maladies respiratoires	Nécessité de connaître l'incidence de base et le taux de prévalence; relier les variables météorologiques et les niveaux de pollution; utiliser les analyses des masses d'air
Inondations et stress, troubles et anxiété post-traumatiques	Soutien communautaire supplémentaire pour la prévention des inondations
Virus du Nil occidental et syndrome pulmonaire à hantavirus (SPH)	Contrôle et surveillance continus

5.2 ADAPTATION À L'ÉCHELLE LOCALE, INSTITUTIONS NON OFFICIELLES ET CAPITAL SOCIAL

Des familles d'agriculteurs gèrent plus de 80 p. 100 des terres agricoles canadiennes, et une bonne partie des mesures d'adaptation rurales est le produit d'innovations à l'échelle locale. Cette caractéristique contraste avec d'autres secteurs, en particulier l'industrie forestière, l'exploitation minière, le secteur de l'énergie, les transports et les villes, où les ressources appartiennent généralement aux sociétés ou sont louées par celles-ci, et où une bonne partie des mesures d'adaptation est mise en œuvre au niveau institutionnel.

Avec la mondialisation, la responsabilité de gérer l'adaptation est en train d'être transmise aux agro-entreprises et aux instances d'ordre national et international (Burton et Lim, 2005). L'existence de matériel agricole de plus grande taille et automatisé, et la production à plus grande échelle permettent à un plus petit nombre d'agriculteurs de produire davantage de denrées primaires. Cette échelle industrielle peut favoriser des adaptations de nature technologique et économique au changement et à la variabilité du climat, mais elle a tendance à remplacer le réseau robuste et cohérent des collectivités rurales (Diaz *et al.*, 2003), ce qui a pour effet de nuire au capital social permettant l'adaptation. Malgré que l'industrie

agricole soit devenue beaucoup plus diversifiée, et donc plus résiliente, on remarque que cela s'est produit en partie grâce à une spécialisation à l'échelle régionale, qui a entraîné du même coup une réduction de la diversité et une augmentation de la vulnérabilité des fermes individuelles (Bradshaw *et al.*, 2004). Bien que la capacité d'adaptation des producteurs agricoles semble relativement grande (p. ex., Burton et Lim, 2005), les seuils auxquels ils peuvent faire face seront dépassés si les écarts par rapport aux conditions normales atteignent des niveaux jamais encore observés (Sauchyn, 2007).

Il y a de grandes possibilités d'utiliser de façon plus efficiente les approvisionnements en eau à des fins agricoles, plus particulièrement en améliorant la gestion de l'utilisation de l'eau par le bétail (p. ex., McKerracher, 2007) et pour les cultures irriguées (*voir* l'étude de cas 2). Certains témoignages révèlent que les propriétaires et les gestionnaires de terres agricoles pensent maintenant davantage à rétablir le processus de stockage naturel et les pratiques traditionnelles, telles que les systèmes de collecte de l'eau de pluie et l'utilisation de la capacité de stockage des terres humides et des écosystèmes riverains. Cependant, l'échelle de l'agriculture moderne pose un obstacle au rétablissement des terres humides, puisqu'une telle mesure pourrait entraîner une baisse de l'efficacité de la grosse machinerie agricole et exiger un dédommagement pour compenser l'inondation des terres arables.

Étant donné que les pratiques de gestion à l'échelle de la ferme ont des effets plus immédiats que le changement climatique (Jones, 1993), elles ont le potentiel soit de réduire, soit d'accentuer les répercussions du climat. La conservation des sols est un parfait exemple de stratégie de type « sans regret », car il est avantageux d'empêcher la perte des sols, que le changement climatique ait ou non les répercussions prévues. Avec l'adoption de pratiques modernes de conservation des sols, en particulier le travail réduit du sol, le nombre moyen de jours pendant lesquels les sols sont dénudés a chuté de plus de 20 p. 100 dans les provinces des Prairies entre 1981 et 1996, et la superficie des terres qui risquent de subir une érosion éolienne a ainsi diminué de 30 p. 100 (McRae *et al.*, 2000). Habituellement, le coût de la conservation des sols et de l'eau est assumé principalement par les gestionnaires des terres.

« La très forte érosion par le vent et l'eau est dominée par ces cas très rares où le sol exposé est soumis à des événements très érosifs. Ces événements peuvent ne se produire qu'une fois pendant la vie active d'un agriculteur donné, ce qui rend difficile de justifier la dépense et les inconvénients de nombre de pratiques de conservation du sol » (Administration du rétablissement agricole des Prairies, 2000: p.33 [traduction]).

Certaines formes de capital social, comme la mise en commun des connaissances et la participation à des réseaux de soutien, réduisent la vulnérabilité en intensifiant l'appui mutuel et la réciprocité (Portes, 1998; Field *et al.*, 2000; Glaeser, 2001; Putnam, 2001; Policy Research Initiative, 2005). Le capital social rend la compréhension des défis à relever et des mécanismes d'adaptation plus aisée et peut servir à mobiliser les ressources pour assurer le bien-être des personnes, des groupes et des collectivités. La capacité d'adaptation actuelle est « liée à l'aptitude d'une société à agir collectivement » (Adger, 2003a, p. 29 [traduction]) et repose sur les réseaux sociaux, les relations et la confiance. Le capital social peut compléter, voire remplacer, les efforts de l'État pour ce qui est de faire face aux dangers d'ordre climatique (Adger, 2000; Sygna, 2005). Dans les collectivités rurales en particulier, des institutions non officielles, telles que les groupes confessionnels et les sociétés agricoles, constituent des mécanismes efficaces qui aident à composer avec des problèmes comme le changement climatique.

Des enquêtes réalisées dans six collectivités rurales du sud de la Saskatchewan ont fourni des indications claires de l'existence d'un grand capital social. En effet, la confiance et la participation à des organismes et à des réseaux officiels sont courantes au sein des collectivités (Diaz et Nelson, 2004; Jones et Schmeiser, 2004). En moyenne, les personnes qui possèdent un capital social moyen ou élevé sont plus informées et plus optimistes à l'égard des problèmes liés au changement climatique et à la qualité de l'eau, et mieux en mesure d'agir (Diaz et Nelson, 2006). Celles dont le niveau de capital social est plus faible semblent être plus pessimistes face au changement climatique et à la capacité d'y remédier. Dans les milieux urbains, il existe entre les quartiers une grande variabilité du capital social, qui reflète les conditions économiques et sociales à l'intérieur d'une ville (Cecil *et al.*, 2005).

Les résidants des collectivités rurales sont peut-être plus susceptibles que ceux des villes de se montrer sceptiques face au changement climatique (Neudoerffer, 2005). Cet état de choses pourrait nuire à la participation à des initiatives d'adaptation. En outre, l'autonomie des institutions communautaires commence à subir la menace des forces du marché à grande échelle et des structures administratives dominées par les entreprises multinationales et les gouvernements régionaux désireux d'attirer de nouveaux investissements (Epp et Whitson, 2001). Une réduction du sentiment d'autonomie pourrait aussi réduire les efforts de planification des mesures d'adaptation au niveau local.

Dans les collectivités autochtones, l'adoption de modes de vie non traditionnels survenue au cours des dernières années a réduit le recours aux connaissances et aux pratiques locales, et une dépendance croissante envers le travail salarié et l'aide extérieure a miné la capacité d'adaptation à l'échelle locale (Ford et Smit, 2004). Les connaissances et les systèmes de gestion des terres traditionnels étaient auparavant des sources de ressort psychologique et pourraient jouer un rôle important à l'avenir dans le processus de rétablissement ou de renforcement de la capacité d'adaptation.

Les collectivités à vocation touristique et les infrastructures de type récréatif exigent d'énormes dépenses en immobilisation comme les remontées, l'équipement de fabrication de neige, les chalets et de coûteuses résidences de vacances. Si ces collectivités sont limitées à des activités hivernales, le potentiel de pertes économiques dues au changement climatique est élevé. Cependant, l'effet économique net pourrait être amélioré grâce à la diversification, c'est-à-dire qu'on pourrait capitaliser sur les conditions de nature plus estivales qui prévaudront au printemps et à l'automne (Scott et Jones, 2005). Les collectivités à vocation touristique ont tendance à avoir une économie plus diversifiée que celles qui dépendent d'un secteur unique axé sur les ressources primaires (c.-à-d. l'agriculture, l'exploitation minière ou l'industrie forestière), et leurs résidants sont susceptibles de posséder un ensemble de compétences plus étendu qui renforce leur capacité d'adaptation.

Les enseignements tirés de catastrophes du passé donnent un aperçu des stratégies d'adaptation possibles. Les journaux présentent en détail les répercussions des catastrophes selon le point de vue des individus et des collectivités, et peuvent appuyer à l'aide de documents le rapport entre ces catastrophes et des résultats néfastes pour la santé que les méthodes de recherche scientifique classiques ne peuvent pas facilement mesurer (Soskolne *et al.*, 2004). La description des difficultés vécues par les collectivités et les individus met en évidence les circonstances qui touchent la santé et le bien-être de façon délétère au cours d'une catastrophe. Ces histoires peuvent aider à déterminer dans quel domaine il serait le

plus efficace de concentrer les efforts d'adaptation à l'échelle communautaire, comme la création de voies d'évacuation de rechange pour les collectivités éloignées. Même si le système de soins de santé actuel répond généralement de façon efficace aux conséquences directes des catastrophes sur la santé, avec l'augmentation de la fréquence et de la gravité des phénomènes climatiques extrêmes, la capacité des services de santé pourrait être dépassée.

6 SYNTHÈSE

Les principaux risques et possibilités liés au changement climatique dans les provinces des Prairies tiennent au climat sec et variable, aux hausses de température projetées qui sont plus élevées que partout ailleurs dans le sud du Canada, à la sensibilité des ressources en eau, des écosystèmes et des économies primaires aux variations saisonnières et interannuelles du climat, en particulier les larges écarts (p. ex., les sécheresses) par rapport aux conditions normales. La croissance économique rapide que ces provinces ont connue récemment, particulièrement l'Alberta, l'exode des populations rurales vers les villes ainsi que la présence sur leur territoire de la majorité des paysages agricoles et des terres irriguées du Canada sont également des facteurs importants qui ont une influence sur la vulnérabilité dans les Prairies. Après avoir évalué la vulnérabilité de la région, on peut tirer les conclusions suivantes :

- ***Les changements climatiques prévus dépasseront la plage de variabilité naturelle du passé récent.***

L'importante tendance récente au réchauffement, dont fait état aussi bien les données de substitution que celles recueillies à l'aide d'instruments, concorde avec les prévisions provenant des modèles de circulation générale (MCG). Sauf dans le cas de quelques scénarios correspondant aux années 2020, tous les modèles prévoient des climats qui sortent de la plage de variabilité naturelle connue et constatée au XX^{e} siècle. L'évaluation, par les auteurs, des sensibilités et des vulnérabilités des ressources naturelles et des activités humaines révèle que l'accroissement projeté de la variabilité climatique et de la fréquence des événements météorologiques extrêmes constituent, pour les provinces des Prairies, le danger le plus important associé au changement climatique. Les extrêmes climatiques, en particulier les sécheresses, poseront un défi de taille à l'adaptation et feront en sorte que le changement climatique sera moins apte à présenter des possibilités. Les modèles climatiques sont incapables de reproduire les phénomènes extrêmes et la variabilité hydroclimatique de façon aussi fiable qu'ils le font lorsqu'il s'agit de simuler les tendances à venir et la variabilité de la température. Les épisodes climatiques les plus coûteux de l'histoire canadienne ont été des sécheresses dans les Prairies. Les inondations sont un autre type d'épisode climatique coûteux auquel sont associés des répercussions pouvant avoir une incidence sur la santé, comme les proliférations de maladies d'origine hydrique, le stress et l'anxiété. La répétition, tout au long de l'histoire, des impacts sociaux et économiques des sécheresses semble indiquer que des sécheresses futures extrêmement graves ou de longue durée seront les éléments du changement climatique et de la variabilité les plus susceptibles de taxer au-delà de ses limites la capacité des collectivités et de l'industrie des Prairies d'y faire face et de s'adapter.

- ***La plupart des économies et des activités ne sont pas encore adaptées à la gamme plus considérable de conditions climatiques prévus.***

Un certain degré d'adaptation a déjà eu lieu dans les collectivités et les économies des Prairies en réaction aux conditions climatiques du XX^{e} siècle. Cette courte perspective met en évidence une certaine constance en ce qui a trait au climat et aux ressources; les pratiques et les politiques de gestion des ressources reflètent donc la perception selon laquelle les apports en eau et les ressources écologiques sont abondants au sein d'un milieu relativement stable. Dans la perspective plus étendue qu'offrent les modèles climatiques et les données paléoenvironnementales ainsi que les changements prévus de la variabilité du climat, de la biodiversité, des régimes de perturbation et de la répartition des ressources en eau et des écoservices, les systèmes futurs de gestion de l'eau et des écosystèmes devront, dans l'avenir, renoncer à l'hypothèse d'un environnement stationnaire.

- ***Les principales vulnérabilités liées au changement climatique concernent la disponibilité de l'eau et les répartitions au niveau des écosystèmes.***

L'une des projections les plus certaines au sujet de l'hydroclimat futur est qu'on disposera de plus d'eau en hiver et au printemps, alors que les étés seront généralement plus secs, en raison du ruissellement printanier précoce et des pertes par évapotranspiration au cours d'une saison estivale plus longue et plus chaude. Le résultat net sera très probablement une réduction de la quantité d'eau de surface et de l'humidité du sol, mais aussi une plus grande variation d'une saison et d'une année à l'autre. Certaines années, la rareté de l'eau sera une contrainte pour tous les secteurs et toutes les collectivités, phénomène qui pourrait mettre un frein à la rapide croissance économique actuelle, y compris la mise en valeur des sables bitumineux et le recours accru à l'irrigation.

On s'attend à ce que le réchauffement et l'assèchement du climat entraînent des changements importants dans les écosystèmes. Les habitats aquatiques subiront un stress qui touchera diverses espèces de poissons, alors que certaines populations d'oiseaux aquatiques diminueront substantiellement. C'est à proximité des gradients écologiques prononcés, comme dans les montagnes, les îlots de forêt et sur les marges nord et ouest des forêts de conifères, que les changements des écosystèmes terrestres seront les plus visibles. Des végétaux et des animaux non indigènes apparaîtront dans le paysage. Certaines espèces indigènes dépériront ou disparaîtront tout à fait. D'autres espèces augmenteront en nombre, ou leur

répartition géographique s'étendra si la connectivité le permet. L'évolution des écosystèmes pourrait rendre plus communes certaines maladies à transmission vectorielle, telles que le virus du Nil occidental et le syndrome pulmonaire à hantavirus.

- ***Des hivers plus courts et plus doux offrent à la fois des avantages et des désavantages.***

Une grande partie de la hausse prévue des températures et des précipitations aura lieu en hiver et au printemps. Cette situation a plusieurs avantages, dont la réduction de la demande d'énergie pour le chauffage et de la mortalité due aux froids extrêmes. En revanche, les hivers froids présentent aussi des avantages pour les activités récréatives hivernales, pour le transport sur les lacs et les terrains gelés et, en particulier, pour le stockage de l'eau sous forme de glace et de neige, soit actuellement la source d'eau la plus abondante, la plus fiable et la plus prévisible.

- ***L'adaptation planifiée constitue un élément de la gestion adaptative et du développement économique durable.***

La croissance des pressions exercées sur les ressources naturelles, conjuguée au modèle actuel de développement durable, a donné naissance dans tous les secteurs à des politiques et à des processus qui ont un rapport avec l'adaptation planifiée dans le cadre du changement climatique. Parmi les moyens d'action et de gestion utiles en place figurent les initiatives des communautés durables, le renouvellement des infrastructures, la planification agroenvironnementale à la ferme, les conseils de gestion des bassins hydrographiques et les principes de gestion adaptative des forêts et de gestion intégrée des ressources en eau. Étant donné l'urbanisation rapide en Alberta et le dépeuplement général des régions rurales dans la totalité des Prairies, les stratégies de croissance urbaine durable et de soutien des économies rurales doivent inclure l'évaluation des risques et des possibilités liés aux phénomènes climatiques dans le cas de divers secteurs de la population et de diverses économies rurales. Par exemple, les répercussions du changement climatique sur les ressources naturelles, en particulier les apports en eau, auront une forte incidence sur le développement économique des régions rurales.

- ***La capacité d'adaptation varie entre moyenne et élevée dans les provinces des Prairies, mais elle est répartie inégalement et doit être mobilisée si l'on veut réduire le niveau de vulnérabilité.***

Une évaluation des éléments déterminants classiques de la capacité d'adaptation (capital naturel et humain, infrastructures, technologie, etc.) semble indiquer que cette capacité est relativement élevée dans les Prairies. En effet, les antécédents de ces provinces en matière d'adaptation à un climat rigoureux et variable ont permis au secteur agricole d'acquérir une capacité d'adaptation considérable; celui-ci peut maintenant se fier sur ces antécédents pour s'adapter aux menaces à sa productivité. Les politiques et pratiques de gestion ont été ajustées en raison, par exemple, de la détérioration des sols, des barrières commerciales et des changements dans les marchés d'exportation et les subventions au transport. L'histoire du secteur agricole des Prairies a été jusqu'à présent un processus continu d'adaptation et de protection contre les sécheresses qui a fait intervenir des innovations et des améliorations sur le plan de la gestion de l'eau, des sols, des cultures et des pâturages. Des sécheresses plus graves mettront à l'épreuve cette capacité d'adaptation acquise.

La capacité d'adaptation moyenne à élevée d'autres secteurs peut être attribuée à des stratégies de gestion des risques et à des pratiques de gestion adaptatives, bien que ces mécanismes n'aient généralement pas fait leurs preuves face au changement climatique. Les obstacles à l'adaptation peuvent être, entre autres, le manque de capacités financières, le manque de compréhension, chez les gestionnaires, des conséquences du changement climatique et les politiques en place, qui peuvent prévenir la mise en œuvre de mesures d'adaptation.

La capacité d'adaptation est répartie inégalement sur le territoire ainsi qu'entre les segments de la société en raison de leurs situations sur les plans démographique et de la santé et des facteurs régionaux, socio-économiques et culturels. Dans les provinces des Prairies, les populations les plus vulnérables sont les personnes âgées, les enfants, les gens déjà atteints de troubles médicaux, ceux dont le statut socio-économique est médiocre ou qui sont sans abri, les petits agriculteurs et les Autochtones. Les personnes âgées, les Autochtones et les immigrants sont les segments de la population qui croissent le plus rapidement et qui sont parmi les plus vulnérables aux répercussions sur la santé. La vulnérabilité économique précède souvent les conséquences délétères dues aux phénomènes météorologiques extrêmes.

Les inégalités actuelles de la répartition géographique des personnes et des ressources – la population et la richesse étant concentrées en Alberta – seront probablement amplifiées par le changement climatique. Le stress économique et social lié à ce dernier pourrait favoriser d'autres migrations de la campagne vers les villes et vers les régions possédant le plus de ressources. L'exode des populations rurales vers les grands centres urbains nuit à la viabilité des collectivités rurales et peut imposer aux villes des pressions sociales supplémentaires. Les collectivités rurales, en particulier les collectivités isolées et caractérisées par un manque de diversité économique, sont les plus à risque en raison de leur faible capacité d'intervention en cas d'urgence et de leur dépendance envers des secteurs économiques sensibles au climat (agriculture et industrie forestière). Les collectivités rurales autochtones subiront les mêmes stress, en plus des menaces touchant les ressources sur lesquelles leur subsistance est basée.

Les institutions officielles et non officielles agissent ensemble pour soit soutenir, soit nuire à la capacité de faire face aux défis planétaires comme le changement climatique. Les efforts déployés pour améliorer la capacité d'adaptation doivent tenir compte des facteurs institutionnels en place. Dans la mesure où les institutions de gouvernance organisent les relations entre l'État et la société civile, elles sont essentielles au développement de la capacité d'adaptation. Le capital social peut servir à mobiliser les ressources pour assurer le bien-être des personnes, des groupes et des collectivités, et jouer un rôle particulièrement important lorsqu'il s'agit de composer avec les incertitudes et les déséquilibres créés par le changement climatique, car il peut compléter, voire remplacer, les efforts des gouvernements. Les quelques études disponibles montrent que les personnes dont le capital social est grand sont en moyenne plus informées et plus optimistes à l'égard des problèmes liés au changement climatique et à la qualité de l'eau, et mieux en mesure d'agir.

RÉFÉRENCES

Adger, N. « Institutional adaptation to environmental risk under the transition in Vietnam », *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 90, n° 4, 2000, pp. 738-758.

Adger, N. « Social aspects of adaptive capacity », dans *Climate Change. Adaptive Capacity and Development*, B. Smit, R. Klein, et S. Huq (éd.), Imperial College Press, Londres, Royaume-Uni, 2003, pp. 29-50.

Administration du rétablissement agricole des Prairies. *Prairie agricultural landscapes: a land resource review*, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Regina (Saskatchewan), 2000, 179 p.

Agence de santé publique du Canada. « Syndrome pulmonaire du hantavirus au Canada, 1989-1999 », Agence de santé publique du Canada, *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 26, n° 8, 2000, <http://www.phac-aspc.gc.ca/publicat/ccdr-rmtc/00vol26/dr2608ca.html>, [consultation : 4 juin 2007].

Agence de santé publique du Canada. *Fiche technique santé-sécurité – matières infectieuses : hantavirus*, Agence de santé publique du Canada, 2001, <http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds74e.html>, [consultation : 4 juin 2007].

Agence de santé publique du Canada. « Sommaire des maladies à déclaration obligatoire », Agence de santé publique du Canada, *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 28, n° 11, 2002, p. 94-95.

Agence de santé publique du Canada. *Santé de la population : qu'est-ce qui détermine la santé?*, Agence de santé publique du Canada, 2004a, <http://www.phac-aspc.gc.ca/ph-sp/phdd/determinants/determinants.html#income>, [consultation : novembre 2005].

Agence de santé publique du Canada. *West Nile virus: results of human testing by health region, surveillance maps, Canada, 2003*, Agence de santé publique du Canada, 2004b, <http://www.phac-aspc.gc.ca/wnv-vwn/index.html>, [consultation : mars 2006].

Agence de santé publique du Canada. *West Nile virus: results of human testing by health region, surveillance maps, Canada 2005*, Agence de santé publique du Canada, 2004c <http://www.phac-aspc.gc.ca/wnv-vwn/index.html>, [consultation : mars 2006].

Akinremi, O. O., S.M. McGinn et H.W. Cutforth. « Precipitation Trends on the Canadian Prairies », *Journal of Climate*, vol. 12, n° 10, 1999, pp. 2996-3003.

Alberta Economic Development. *Tourism statistics*, Alberta Economic Development, Statistics and Publications, 2006, <http://www.alberta-canada.com/statpub/tourismStatistics/index.cfm>, [consultation : 30 mai 2007].

Alberta Energy. Oil Sands, 2005, *Alberta Energy, 2005*, <http://www.energy.gov.ab.ca/89.asp>, [consultation : novembre 2006].

Alberta Environment. *South Saskatchewan River basin water management plan, phase one water allocation transfers*, Appendices, Edmonton, Alberta Environment, 2002, 33 p.

Alberta Environment. *Water management plan for the South Saskatchewan River basin in Alberta*, ébauche (approuvée), Alberta Environment, 2005, 43 p.

Alberta Environment. *Alberta implements water management plan for the South Saskatchewan River basin: plan sets a balance between needs of environment and economy*, communiqué de presse, Alberta Environment, 2006, <http://www.gov.ab.ca/acn/200608/2043260C967C4-CBB8-C14F-F0EFFFCE8EF4EF81.html>, [consultation : 30 mai 2007].

Alberta Reforestation Standards Science Council. *Linking regeneration standards to growth and yield and forest management objectives*, rédigé par le Alberta Reforestation Standards Science Council pour Alberta Sustainable Resource Development, 2001, 57 p., <http://srd.gov.ab.ca/forests/pdf/ARSSC_Report.pdf>, [consultation : 30 mai 2007].

Alberta Sustainable Resource Development. *Standards for tree improvement in Alberta*, Alberta Sustainable Resource Development, Land and Forest Division, 2005, 115 p., <<http://www.srd.gov.ab.ca/forests/pdf/STIAmanual%20JUL29_05.pdf>>, [consultation : 30 mai 2007].

Alberta Sustainable Resource Development. *Beetle bulletin: mountain pine beetle activities in Alberta*, Alberta Sustainable Resource Development, Mountain Pine Beetle Program, 2007, 4 p., <http://srd.alberta.ca/forests/pdf/Beetle%20Bulletin%20-%20April.pdf>, [consultation : 30 mai 2007].

Amthor, J.S et D.D. Baldocchi. « Terrestrial higher plant respiration and net primary production », dans *Terrestrial Global Productivity*, J. Roy, B. Saugier et H. Mooney (éd.), Academic Press, San Diego, 2001, pp. 33-59.

Anderson, J., I. Craine, A. Diamond et R. Hansell. « Impacts du changement et de la variabilité climatiques sur les écosystèmes non aménagés, la biodiversité et les espèces sauvages », dans *L'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*, volume 7 sur les questions sectorielles, G. Koshida et A. Avis (éd.), Environnement Canada, 1998, pp. 129-202.

Anderson, P.W., M. Kliman et R. Difrancesco. « Potential impacts of climate warming on hydrocarbon production in the northern Mackenzie Basin », dans *MacKenzie Basin Impact Study Final Report*, S. Cohen (éd.), Environnement Canada, 1997, pp. 247-252.

Andrey, J. et B. Mills. « Climate change and the Canadian transportation system: vulnerabilities and adaptations », chapitre 9 dans *Weather and Road Transportation*, J. Andrey et C.K. Knapper (éd.), University of Waterloo, Waterloo (Ontario), Department of Geography Publication Series, Monographic 55, 2003a, pp. 235-279.

Andrey, J. et B. Mills. *Collisions, casualties, and costs: weathering the elements on Canadian roads*, Institut de prévention des sinistres catastrophiques, Paper Series, no 33, 2003b, 31 p., <http://www.iclr.org/pdf/AndreyMills_Collisions-casualties-costs_ICLR-2003-report_July4-03.pdf>, [consultation : 30 mai 2007].

Andrey, J., B. Mills, M. Leahy et J. Suggett. « Weather as a chronic hazard for road transportation in Canadian cities », *Natural Hazards*, vol. 28, n° 2-3, 2003, pp. 319-343.

Archibald, D.J., W.B. Wiltshire, D.M. Morris et B.D. Batchelor. *Forest management guidelines for the protection of the physical environment, version 1.0*, Ministère des ressources naturelles de l'Ontario, Rapport no 51032, 1997, 42 p.

Arctic Climate Impacts Assessment. *Arctic Climate Impacts Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2004, 1042 p.

Arnfield, A. J. « Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island », *International Journal of Climatology*, vol. 23, n° 1, 2003, pp.1 – 26.

Arthur, L.M. « The implications of climate change for agriculture in the Prairie Provinces », Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, *Climate Change Digest* 88-01, 1988, pp. 1-11.

Ashmore, P. et M.Church. *The impact of climate change on rivers and river processes in Canada*, Commission géologique du Canada, Bulletin 555, 2001, pp. 1-48.

Azmier, J. J. *Manitoba in profile*, rapport rédigé par la Canada West Foundation pour le Business Council of Manitoba, 2002, 16 p.

Bachelet, D., J.M. Lenihan, C. Daly, R.P. Neilson, D.S. Ojima et W.J. Parton. *A dynamic vegetation model for estimating the distribution of vegetation and associated eEcosystem fluxes of carbon, nutrients, and water technical documentation*, version 1.0, United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report PNW-GTR-508, 2001, 95 p.

Baldocchi, D.D. et J.S. Amthor. « Canopy photosynthesis: history, measurements and models », dans *Terrestrial Global Productivity*, Roy, J., B. Saugier et H. Mooney (éd.), Academic Press, San Diego, Californie, 2001, pp. 9-31.

Banque mondiale. *Sustaining Development in a Dynamic World: Transforming Institutions, Growth, and Quality of Life*, Banque mondiale et Oxford University Press, Washington, DC, 2002, 271 p.

Barrow, E. et G. Yu. *Climate scenarios for Alberta*, rapport rédigé pour Prairie Adaptation Research Collaborative, Regina (Saskatchewan) en co-opération avec Alberta Environment, 2005, 73 p.

Barrow, E., B. Maxwell et P. Gachon (éd.) *Climate variability and change in Canada: present, past and future*, Environnement Canada, Service météorologique, ACSD Science Assessment Series, no 2, 2004, 114 p.

Beaubien, E.G. « Plantwatch: tracking the biotic effects of climate change using students and volunteers – is spring arriving earlier on the Prairies? », dans *The Ecological Monitoring and Assessment Network Report* (Environnement Canada), Troisième réunion scientifique nationale tenue en janvier 1997 à Saskatoon (Saskatchewan), 1997, pp. 66-68.

Beaubien, E.G. et H.J. Freeland. « Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature », *International Journal of Biometeorology*, vol. 44, n° 2, 2000, pp. 53-59.

Beaulieu, M.S. et F. Bédard. *A geographic profile of Canadian livestock, 1991-2001*, Statistique Canada, Agriculture and Rural Working Paper Series, Document de travail no 62, 2003, 32 p.

Bentham G. et I.H. Langford. « Environmental temperatures and the incidence of food poisoning in England and Wales », *International Journal of Biometeorology*, vol. 45, n° 1, pp. 22-26.

Bergeron, Y., M. Flannigan, S. Gauthier, A. Leduc et P. Lefort. « Past, current and future fire frequency in the Canadian boreal forest: implications for sustainable forest management », *Ambio*, vol. 33, n° 6, 2004, pp.356-360.

Bernard S.M., J.M. Samet, A. Grambsch, K.L. Ebi et L. Romieu. « The potential impacts of climate variability and change on air pollution-related health effects in the United States », *Environmental Health Perspectives*, vol. 109, supplément no 2, 2001, pp. 199-209.

Bethke, R.W. et T.D. Nudds. « Effects of climate change and land use on duck abundance in Canadian prairie-parklands », *Ecological Applications*, vol. 5, n° 3, 1995, pp. 588–600.

Bjornlund, H., J. McKay et J. Pisaniello. *Waste not – want not*, rapport remis au Water Conservation Partnership Project – Incentive Scheme Study, University of South Australia, Adelaide, Australie, 2001.

Blair, D. et W.F. Rannie. « Wading to Pembina: 1849 spring and summer weather in the valley of the Red River of the north and some climatic implications » , *Great Plains Research*, vol. 4, n° 1, 1994, pp. 3-26.

Bloomfield, J. et F. Tubiello. « Impacts of Climate Change in the United States: Agriculture », dans *National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change*; Union of Concerned Scientists ,2000, <http://www.climatehotmap.org/impacts/agriculture.html>, [consultation : 31 mai 2005].

Bowman, D.M.J.S. et F.H. Johnston. « Wildfire smoke, fire management, and human health », *EcoHealth*, vol. 2, n° 1, 2005, pp. 76-80.

Bradshaw, B., H. Dolan et B. Smit. « Farm-level adaptation to climatic variability and change: crop diversification in the Canadian Prairies », *Climatic Change*, vol. 67, n° 1, 2004, pp. 119-141.

Breslow, P.B. et D.J. Sailor. « Vulnerability of wind power resources to climate change in the continental United States », *Renewable Energy*, vol. 27, n° 4, 2002, pp. 585–598.

Bridgman, S.A., R.M. Robertson, Q. Syed, N. Speed, N. Andrews et P.R. Hunter. « Outbreak of cryptosporidiosis associated with a disinfected groundwater supply », *Epidemiology and Infection*, vol. 115, n° 3, 1995, pp. 555-566.

Brown, R. *Snow cover response to climate warming, State of the Canadian Cryosphere*, 2006, <http://www.socc.ca/snow/variability/index.cfm>, [consultation : 31 mai 2007].

Bruce, J.P. « Oil and water – will they mix in a changing climate? The Athabasca River story », dans *Implications of a 2°C Global Temperature Rise on Canada's Water Resources*, Athabasca River and Oil Sands Development, Great Lakes and Hydropower Production, T. Tin (éd.), rapport rédigé pour le Sage Centre, 2006, pp. 12–34., <http://www.tidescanada.org/cms/File/sagereport_nov0106.pdf >, [consultation : 16 juillet 2007].

Burn, D. « Hydrologic effects of climate change in west-central Canada », *Journal of Hydrology*, vol. 160, 1994, pp. 53–70.

Burnett, R.T., J.R. Brook, W.T. Yung, R.E. Dales et D. Krewski. « Association between ozone hospitalizations for respiratory diseases in 16 Canadian cities », *Environmental Research*, vol. 72, n° 1, 1997, pp. 24-31.

Burnett, R.T., S. Cakmak et J.R. Brook. « The effect of the urban ambient air pollution mix on daily mortality rates in 11 Canadian cities », *Revue canadienne de santé publique*, vol. 89, n° 3, 1998, pp. 152-156.

Burton, I. et B. Lim. « Achieving adequate adaptation in agriculture », *Climatic Change*, vol. 70, n° 1-2, 2005, pp. 191-200.

Byrne, J.M. Three phase runoff model for small prairie rivers: I. frozen soil assessment, *Revue canadienne des resources hydriques*, vol. 14, n° 1, 1989, pp. 17–28.

Canadian Climate Impact Scenarios Project. *Bioclimate profiles*; rédigé pour le Canadian Climate Adaptation Fund, Canadian Institute for Climate Studies, Victoria (Colombie-Britannique), 2002, <http://www.cics.uvic.ca/scenarios/bcp/select.cgi?&sn=55>, [consultation : 31 mai 2007].

Carroll, A.L., S.W. Taylor, J. Régnière et L. Safranyik. « Effects of climate change on range expansion by the mountain pine beetle in British Columbia », dans *Mountain Pine Beetle Symposium: Challenges and Solutions*, October 30-31, 2003, Kelowna, British Columbia, Canada, T.L. Shore, J.E. Brooks et J.E. Stone (éd.), Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, centre de foresterie du Pacifique, Rapport d'information BC-X-399, 2004, pp. 223-232.

Carr, A., P. Weedon et E. Cloutis. *Climate Change Implications in Saskatchewan's Boreal Forest Fringe and Surrounding Agricultural Areas*, Geospatial Consulting, Prince Albert, Saskatchewan, 2004, 99 p.

Cecil, B., H. Diaz, D. Gauthier et D. Sauchyn. *Social dimensions of the impact of climate change on water supply and use in the City of Regina*, rapport preparé par le Social Dimensions of Climate Change Working Group pour le Canadian Plains Research Center, University of Regina, Regina (Saskatchewan), 2005, 54 p.

Centres for Disease Control and Prevention. *West Nile Virus: what you need to know*, Centres for Disease Control and Prevention, Department of Health and Human Services, Division of Vector-Borne Infectious Diseases, CDC fact sheet, 2005, 2 p.

Centre for Indigenous Environmental Resources. *Climate change impacts on ice, winter roads, access trails, and Manitoba First Nations*, rapport final, novembre 2006, Ressources naturelles Canada et Affaires indiennes et du Nord Canada, 2006, 210 p.

Charron, D.F., M.K. Thomas, D. Waltner-Toews, J.J. Aramini, T. Edge, R.A. Kent, A.R. Maarouf et J. Wilson. « Vulnerability of waterborne diseases to climate change in Canada », *Journal of Toxicology and Environmental Health*, partie A, vol. 67, n° 20-22, 2004, pp. 1666-1677.

Charron, D.F., D. Waltner-Toews, A. Maarouf et M. Stalker. « A synopsis of the known and potential diseases and parasites of humans and animals associated with climate change in Ontario », dans *A Synopsis of the Known and Potential Diseases and Parasites of Humans and Animals Associated with Climate Change*, S. Griefenhagen et T. Noland (éd.), ministère des rRessources naturelles de l'Ontario, Forest Research Information Report, no 154, 2003, pp. 7–89.

Charron, D.F., T. Edge, M.D. Fleury, W. Galatianos, D. Gillis, R. Kent, A.R. Maarouf, C. Neudoerffer, C.J. Schuster, M.K. Thomas, D. Waltner-Toews et J. Valcour. *Links between climate, water and waterborne illness, and projected impacts of climate change*, rapport technique rédigé pour le Health Policy Research Program (HPRP), Dossier no 6795-15-2001/4400016c, 2005.

Chen, Z., S.E. Grasby et K.G. Osadetz. « Predicting average annual groundwater levels from climatic variables: an empirical model », *Journal of Hydrology*, vol. 260, 2002, pp. 102–117.

Clair, T., B. Warner, R. Robarts, H. Murkin, J. Lilley, L. Mortsch et C. Rubec. « Les milieux humides du Canada et le changement climatique », chapitre 3 dans *L'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique* (Volume 7 sur les questions sectorielles), G. Koshida et A. Avis (éd.), Environnement Canada, 1998, pp. 203-236.

Conseil canadien des ministres des forêts. *Defining sustainable forest management in Canada: criteria and indicators*, Conseil canadien des ministres des forêts, Ottawa (Ontario), 2003, 21. p., <http://www.ccfm.org/ci/CI_Booklet_e.pdf>, [consultation : 31 mai 2007].

Conservation Manitoba. *Forest renewal in Manitoba*, Conservation Manitoba, Direction de la foresterie, 2005, <www.gov.mb.ca/conservation/forestry/forest-renewal/fr1-intro.html>, [consultation : 5 juin 2007].

Coote, D.R. « The extent of soil erosion in western Canada », dans *Soil Erosion and Land Degradation*, Proceedings Second Annual Western Provincial Conference, Rationalization of Water and Soil Research and Management, Saskatchewan Institute of Pedology, Saskatoon, (Saskatchewan), 1983, pp. 34-48.

Coote, D.R. et L.J. Gregorich (éd.). *The health of our water – toward sustainable agriculture in Canada*, Agriculture et Agro-alimentaire Canada, Secteur de la recherche, Direction de la planification et de la coordination de la recherche, 2000, 173 p.

Crabbé, P. et M. Robin. « Institutional adaptation of water resource infrastructures to climatic change in eastern Ontario », *Climatic Change*, vol. 78, 2006, pp. 103–133.

Crosson, P. « Agriculture and Climate Change », dans *Climate Change Economics and Policy: An RFF Anthology*, M. A. Toman (éd.), Resources for the Future, Washington, DC, 2001, pp. 61-66.

Cubasch, U., G.A. Meehl, G.J. Boer, R.J. Stouffer, M. Dix, A. Noda, C.A. Senior, S. Raper, et K.S. Yap. « Projections of future climate change », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, contribution du groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du Groupes d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.I. Johnson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni,2002, pp. 525–582.

Davidson, D.J. *A preliminary assessment of climate change vulnerability in Alberta: the social dimensions*; rapport final remis à Alberta Environment, Alberta Vulnerability Assessment Project, 2006, 204 p.

Davidson, D.J., T. Williamson et J.R. Parks. « Understanding climate change risk and vulnerability in northern forest-based communities », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 33, n° 11, 2003, pp. 2252–2261.

Davis, M.B. et C. Zabinski. « Changes in geographical range resulting from greenhouse warming effects on biodiversity in forests », dans *Global Warming and Biological Diversity*, R.L. Peters et T.E. Lovejoy (éd.), Yale University Press, New Haven, Connecticut, 1992, pp. 297–308.

Deary, I.J. et W.J. McGregor. « Stress in farming », *Stress Medicine*, vol. 13, n° 2, 1997, pp. 131–136.

de Groot, W., P. Bothwell, D. Carlsson, K. Logan, R. Wein et C. Li. « Forest fire management adaptation to climate change in the Prairie Provinces », Service canadien des forêts, University of Alberta, Prairie Adaptation Research Collaborative, Regina, 2002, 97 p.

DeLucia, E., J. Hamilton, S. Naidu, R. Thomas, J. Andrews, A. Finzi, M. Lavine, R. Matamala, J. Mohan, G. Hendrey et W. Schlesinger. « Net primary production of a forest ecosystem with experimental CO_2 enrichment », *Science*, vol. 284, n° 5417, 1999, pp. 1177-1179.

Demadis, K.P. « Scale formation and removal », *Power*, vol. 148, n° 6, 2004, pp. 19-23.

Demuth, M.N. et A. Pietroniro. *The impact of climate change on the glaciers of the Canadian Rocky Mountain eastern slopes and implications for water resource-related adaptation in the Canadian prairies*, Prairie Adaptation Research Collaborative, Regina (Saskatchewan), Project P55, 2003, 111 p.

Diaz, H. et D. Gauthier. « Institutional capacity for agriculture in the South Saskatchewan River basin », chapitre 10 dans *Farming in a Changing Climate: Agricultural Adaptation in Canada*, E. Wall, B. Smit et J. Wandel (éd.), UBC Press, Vancouver (Colombie-Britannique), sous presse.

Diaz, H. et M. Nelson. « Rural community, social capital and adaptation to climate change », *Prairie Forum*, vol. 30, n° 2, 2006, pp. 289-312.

Diaz, H. et M. Nelson. « Changing prairie social landscape of Saskatchewan: the social capital and social cohesion of rural communities », *Prairie Forum*, vol. 30, n° 1, 2004, pp. 43-54.

Diaz, H.P., J. Jaffe et R. Stirling. *Farm communities at the crossroads: challenge and resistance*, Canadian Plains Research Centre, Regina, 2003, 353 p.

do Pico, G.A. « Report on disease », *American Journal of Industrial Medicine*, 1986, vol. 10, n° 3, pp. 261-265.

do Pico, G.A.. « Hazardous exposures and lung diseases among farm workers », *Clinics in Chest Medicine*, vol. 13, n° 2, 1992, pp. 311-328.

D'Souza, R.M., N.G. Becker, G. Hall et K.B.A. Moodie. «Does ambient temperature affect foodborne disease? ». *Epidemiology*, vol. 15, n° 1, 2004, pp. 86-92.

Duncan, K., T. Guidotti, W. Chen, K. Naidoo, G. Gibson, L. Kalkstein, S. Sheridan, D. Waltner-Toews, S. MacEachern et J. Last. « Étude pancanadienne sur la variabilité et le changement climatique – Secteur de la santé », dans *L'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*, volume VII sur les questions sectorielles, G. Koshida et W. Avis (éd.), Environnement Canada, 1998, pp. 545-644.

Durkin, M.S., N. Khan, L.L. Davidson, S.S. Zaman et Z.A. Stein. « The effects of a natural disaster on child behaviour: evidence for posttraumatic stress », *American Journal of Public Health*, vol. 83, n° 11, 1993, pp. 1549-1553.

Ehlers, J.K., C. Connon, C.L. Themann, J.R. Myers et T. Ballard. « Health and safety hazards associated with farming », *American Association of Occupational Health Nurses (AAOHN) Journal*, vol. 41, n° 9, 1993, pp. 414-421.

Engelthaler, D.M., D.G. Mosley, J.E. Cheek, C.E. Levy, K.K. Komatsu, P. Ettestad, T. Davis, D.T. Tanda, L. Miller, J.W. Frampton, R. Porter et R.T. Bryan. « Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome, Four Corners Region, United States », *Emerging Infectious Disease*, vol. 5, n° 1, 1999, pp. 87-94.

Environnement Canada. *Menaces pour les sources d'eau potable et les écosystèmes aquatiques au Canada*, Environnement Canada, Institut national de recherche sur les eaux, série des rapports d'évaluation scientifique, no 1, 2001, 72 p.

Environnement Canada. *Les dix événements météorologiques les plus marquants de 2004*, Environnement Canada, 2004a, <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/media/top10/2004_f.html#topten>, [consultation : 1 juin 2007].

Environnement Canada. *La nature de l'eau – les eaux souterraines*, Environnement Canada, 2004b, <http://www.ec.gc.ca/water/en/nature/grdwtr/e_gdwtr.htm>, [consultation : 1 juin 2007].

Environnement Canada. *Adjusted historical Canadian climate data*, Environnement Canada, Service météorologique du Canada, Direction de la recherche climatique, 2005, <http://www.cccma.bc.ec.gc.ca/hccd/>, [consultation : 1 juin 2007].

Epp, R. et D.Whitson. « Writing off rural communities? », dans *Writing Off the Rural West: Globalization, Governments, and the Transformation of Rural Communities*, R. Epp et D. Whitson (éd.), University of Alberta Press, Edmonton (Alberta), 2001, p. xiii-xxxv.

Epstein, P.R. « West Nile virus and the climate », *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*, vol. 78, n° 2, 2001, pp. 367-371.

Ermine, W., R. Nilson, D. Sauchyn, E. Sauvé et R. Smith. « ISI ASKIWAN – the state of the land: Prince Albert Grand Council Elders' Forum on climate change », *Journal of Aboriginal Health*, vol. 2, n° 1, 2005, pp. 62–75.

Evans, S.G. *Climate change and geomorphological hazards in the Canadian Cordillera*, Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, Rapport A099, 2002, 14 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/71_e.pdf>, [accessed June 1, 2007].

Evans, S.G. et J.J. Clague. « Recent climate change and catastrophic geomorphic processes in mountain environments », *Geomorphology*, vol. 10, n° 1-4, 1994, pp. 107-128.

Evans, S.G. et J.J. Clague. « The impact of climate change on catastrophic geomorphic processes in the mountains of British Columbia, Yukon and Alberta », chapitre 7 dans *The Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*, volume 1: Responding to Global Climate Change in British Columbia and Yukon, E. Taylor et B. Taylor (éd.), British Columbia Ministry of Environment Lands and Parks et Environnement Canada, Vancouver (British Columbia), 1997, pp. 1-16.

Field, J., T. Schuller et S. Baron. « Human and social capital revisited », dans *Social Capital. Critical Perspectives*, S. Baron, J. Field et T. Schuller (éd.), Oxford University Press, New York, New York, 2000, pp. 243-263.

Flannigan, M.D., K.A. Logan, B.D. Amiro, W.R. Skinner et B.J. Stocks. « Future area burned in Canada », *Climatic Change*, vol. 72, n° 1-2, 2005, pp. 1-16.

Fleury, M., D.F. Charron, J.D. Holt, O.B. Allen et A.R. Maarouf. « A time series analysis of the relationship of ambient temperature and common bacterial enteric infections in two Canadian provinces », *International Journal of Biometeorology*, vol. 50, n° 6, 2006, pp. 385–391.

Foley, J.A., I.C. Prentice, N. Ramankutty, S. Levis, D. Pollard, S. Sitch et A. Haxeltine. « An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance and vegetation dynamics », *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 10, n° 4, 1996, pp. 603-628.

Ford, J.D. et B. Smit. « A framework for assessing the vulnerability of communities in the Canadian Arctic to risks associated with climate change », *Arctic*, vol. 57, n° 4, 2004, pp. 389–400.

Frelich, L. et K. Puettmann. « Restoration ecology », dans *Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems*, M. Hunter (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 1999, pp. 499-524.

Gameda, S., B. Qian et A. Bootsma. *Climate change scenarios for agriculture*, présentation faite à Adapting to Climate Change in Canada 2005, du 4 au 7 mai 2005, à Montréal (Québec), Agriculture et Agro-alimentaire Canada, 2005.

Gan, T.Y. « Hydroclimatic trends and possible climatic warming in the Canadian Prairies », *Water Resources Research, American Geophysical Union*, vol. 34, n° 11, 1998, pp. 3009-3015.

Gerber, S., F. Joos et I.C. Prentice. « Sensitivity of a dynamic global vegetation model to climate and atmospheric CO_2 », *Global Change Biology*, vol. 10, n° 8, 2004, pp. 1223-1239.

Ginexi, E.M., K. Weihs, S.J. Simmens et D.R. Hoyt. « Natural disaster and depression: a prospective investigation of reactions to the 1993 Midwest floods », *American Journal of Community Psychology*, vol. 28, n° 4, 2000, pp. 495-518.

Gitay, H., S. Brown, W. Easterling et B. Jallow, J. Antle, M. Apps, R. Beamish, T. Chapin, W. Cramer, J. Frangi, J. Laine, J Erda, Lin, J. Magnuson, I. Noble, J. Price, T. Prowse, T. Root, E. Schulze, O. Sirotenko, B. Sohngen et J. Soussana. « Ecosystems and their goods and services », chapitre 5 dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White (éd.), Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2001, pp. 235-342.

Gitay, H., A. Suárez, R.T. Watson et D. Dokken (éd.). *Climate change and biodiversity*, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Bonn, Allemagne, Publication technique no 4, 2002, 27 p.

Glaeser, E. « The formation of social capital », *Isuma*, vol. 2, n° 1, 2001, pp. 34–40.

Glass, G.E., J.E. Cheek, J.A. Patz, T.M. Shields, T.J. Doyle, D.A. Thoroughman, D.K. Hunt, R.E. Enscore, K.L. Gage, C. Irland, C.J. Peters et R. Bryan. « Using remotely sensed data to identify areas of risk for hantavirus pulmonary syndrome », *Emerging Infectious Disease*, vol. 6, n° 3, 2000, pp. 238-247.

Gouvernement de l'Alberta. *Water for Life. Alberta's strategy for sustainability*, Government of Alberta, 2003, <http://www.waterforlife.gov.ab.ca/docs/strategyNov03.pdf>, [consultation : 1 juin 2007].

Gouvernement de l'Alberta. *State of the environment – water: sectoral allocations – South Saskatchewan River basin*, Government of Alberta, 2006, <http://www3.gov.ab.ca/env/soe/water_indicators/26_SouthSask_sub.html> [consultation : 29 mai 2007].

Gouvernement de la Saskatchewan. *Speech from the throne 2005: toward our new century*, Gouvernement de la Saskatchewan, 2005, <http://www.executive.gov.sk.ca/pdf_documents/throne_speeches/November2005/TS2005.pdf>, [consultation : 4 juin 2007].

Gracia, C., S. Sabaté, B. López et A. Sánchez. « Presente y futuro del bosque mediterráneo: balance de carbono, gestión forestal y cambio global », dans *Ecosistemas Mediterráneos: Análisis Funcional*, R. Zamora et F.Pugnaire (éd.), Consejo Superior de Investigaciones Científicas et Asociación Española de Ecologia Terrestre, Madrid, Espagne, 2001, pp. 351-372.

Gracia, C., S. Sabaté et A. Sánchez. « El cambio climático y la reducción de la reserva de agua en el bosque mediterráneo », *Ecosistemas*, vol. 11, n° 2, 2002, 10 p., <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/300.pdf>, [consultation : 4 juin 2007].

Greenough, G., M. McGeehin, S.M. Bernard, J. Trtani, J. Riad et D.Engelberg. « The potential impacts of climate variability and change on health impacts of extreme weather events in the United States », *Environmental Health Perspectives*, vol. 109, supplément n° 2, 2001, pp. 191-198.

Gregory, J.M., J.F.B. Mitchell et A.J. Brady. « Summer drought in northern midlatitudes in a time-dependent CO_2 climate experiment », *Journal of Climate*, vol. 10, n° 4, 1997, pp. 662-686.

Grenci, L. « Planes, trains and automobiles », *Weatherwise*, vol. 48, 1995, 48 p.

Griffiths, M., A. Taylor et D. Woynillowicz. *Troubled waters, troubling trends: technology and policy options to reduce water use in oil and oil sands development in Alberta*, The Pembina Institute, Drayton Valley (Alberta), 2006, 171 p. (première édition).

Grigal, D.F. « Effects of extensive forest management on soil productivity », *Forest Ecology and Management*, vol. 138, n° 1-3, 2000, pp. 167-185.

Groisman, P.Y., R.W. Knight, D.R. Easterling, T.R. Karl et V.N. Razuvaev. « Trends in intense precipitation in the climate record », *Journal of Climate*, vol. 18, n° 9, 2005, pp. 1326-1350.

Gubler, D.J., P. Reiter, K.L. Ebi, W. Yap, R. Nasci et J.A. Patz. « Climate variability and change in the United States: potential impacts on vector- and rodent-borne diseases », *Environmental Health Perspectives*, vol. 109, supplément n° 2, 2001, pp. 223-233.

Haas, R., N. Li et S. Tighe. *Roughness trends at C-SHRP LTPP sites, Roads and Transportation Association of Canada*, Ottawa (Ontario), Final Project Report, 1999, 97 p.

Hall, A. « Water: water and governance », dans *Governance for Sustainable Development*, G. Ayre et R. Callway (éd.), A Foundation for the Future, Earthscan, Londres, Royaume-Uni, 2005, pp. 111-128.

Hall, G.V., R.M. D'Souza, M.D. Kirk. « Foodborne disease in the new millennium: out of the frying pan and into the fire », *Medical Journal of Australia*, vol. 177, n° 11-12, 2002, pp. 614-618.

Halpin, P. « Global climate change and natural-area protection: management responses and research directions », *Ecological Applications*, vol. 7, n° 3, 1997, pp. 828-843.

Harker, B., J. Lebedin, M.J. Goss, C. Madramootoo, D. Neilsen, B. Paterson et T. van der Gulik. « Land-use practices and changes – agriculture », dans *Threats to Water Availability in Canada*, Environnement Canada, Institut national de recherches sur les eaux, NWRI Scientific Assessment Report Series, no 3 et ACSD Science Assessment Series, no 1, 2004, pp. 49–55.

Harvell, C., C. Mitchell, J. Ward, S. Altizer, A. Dobson, R. Ostfeld et M. Samuel. « Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota », *Science*, vol. 296, n° 5576, 2002, pp. 2158-2162.

Headley, J.V. et D.W.A. McMartin. « Review of the occurrence and fate of naphthenic acids in aquatic environments », *Journal of Environmental Science and Health*, Part A – Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, vol. 39, n° 8, 2004, pp. 1989–2010.

Henderson, N., T. Hogg, E. Barrow et B. Dolter. *Climate change impacts on the island forests of the Great Plains and the implications for nature conservation policy*, Prairie Adaptation Research Collaborative, Regina (Saskatchewan), 2002, 116 p.

Herrington, R., B. Johnson et F. Hunter. « Responding to global climate change in the Prairies », volume III de *Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*, Environnement Canada, Ottawa, 1997, 44 p.

Hirsch, T. *A soft landing: Saskatchewan's economic profile and forecast*, Canada West Foundation, Calgary (Alberta), 2005a, 6 p.

Hirsch, T. *Firing on (almost) all cylinders – Alberta's economic profile and forecast*, Canada West Foundation, Calgary (Alberta), 2005b, 8 p.

Hoekman, S.T., L.S. Mills, D.W. Howerter, J.H. Devries et I.J. Ball. « Sensitivity analyses of the life cycle of mid-continent mallards », *Journal of Wildlife Management*, vol. 66, n° 3, 2002, pp. 883–900.

Hofmann, N., L. Mortsch, S. Donner, K. Duncan, R. Kreutzwiser, S. Kulshreshtha, A. Piggott, S. Schellenberg, B. Schertzerand et M. Slivitzky. « Climate change and variability: impacts on Canadian water », dans *The Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*, Volume VII: National Sectoral Issue, G. Koshida et W. Avis (éd.), Environnement Canada, 1998, pp. 1–120.

Hogg, E.H. et P.Y. Bernier. « Climate change impacts on drought-prone forests in western Canada », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, n° 5, 2002, pp. 675-682.

Hogg, E.H. et P.A. Hurdle. « The aspen parkland in western Canada: a dry climate analogue for the future boreal forest? », *Air, Water, and Soil Protection*, vol. 82, n° 1-2, 1995, pp. 391-400.

Hogg, E.H. et A.G. Schwarz. « Regeneration of planted conifers across climatic moisture gradients on the Canadian Prairies: implications for distribution and climate change », *Journal of Biogeography*, vol. 24, n° 4, 1997, pp. 527-534.

Hogg, E.H., J.P. Brandt et B. Kochtubajda. « Factors affecting interannual variation in growth of western Canadian aspen forests during 1951-2000 », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 35, n° 3, 2005, pp. 610-622.

Hogg, E.H., J.P. Brandt, B. Kochtubajda, M. Michaelian et B.R. Frey. « Impact of the 2001-2003 drought on productivity and health of western Canadian aspen forests », dans *Proceedings of the 53rd Western International Forest Disease Work Conference*, September 26-29, 2005, Jackson, Wyoming and Ogden, Utah, J.C. Guyon (comp.), United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Region, 2006, pp. 89-94.

Holman, I.P., R.J. Nicholls, P.M. Berry, P.A. Harrison, E. Audsley, S. Shackley et M.D.A. Rounsevell. « A regional, multi-sectoral and integrated assessment of the impacts of climate and socio-economic change in the UK: Part II, results », *Climatic Change*, vol. 71, n° 1-2, 2005a, pp. 43-73.

Holman, I.P., M.D.A. Rounsevell, S. Shackley, P.A. Harrison, R.J. Nicholls, P.M. Berry et E. Audsley. « A regional, multi-sectoral and integrated assessment of the impacts of climate and socio-economic change in the UK, Part I, Methodology », *Climatic Change*, vol. 71, n° 1-2, 2005b, pp. 9-41

Homer-Dixon, H. *Environment, scarcity, and violence*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1999, 272 p.

Huang, Y.F., G.H. Huanga,C. Z.Y. Hua, I. Maqsooda, A. Chakmad. « Development of an expert system for tackling the public's perception to climate-change impacts on petroleum industry », *Expert Systems with Applications*, vol. 29, n° 4, 2005, pp. 817-829.

Huhn, G.D., J.J. Sejvar, S.P. Montgomery et M.S. Dworkin. « West Nile Virus in the United States: an update on an emerging infectious disease », *American Family Physician*, vol. 68, n° 4, 2003, pp. 653-660.

Hyland, R., J. Byrne, B. Selinger, T.A. Graham, J. Thomas, I. Townshend et V.P.J. Gannon. « Spatial and temporal distribution of fecal indicator bacteria within the Oldman River basin of southern Alberta, Canada », *Water Quality Research Journal of Canada*, vol. 38, n° 1, 2003, pp. 15-32.

IBI Group. « The implications of long-term climatic changes on transportation in Canada », Environnement Canada, *Climatic Change Digest*, CCD90-02, 1990, 8 p.

Inkley, D.B., M.G. Anderson, A.R. Blaustein, V.R. Burkett, B. Felzer, B. Griffith, J. Price et T.L. Root. *Global climate change and wildlife in North America*, The Wildlife Society, Bethesda, Maryland, Technical Review 04-2, 2004, 26 p.

Irrigation Water Management Study Committee. *South Saskatchewan River basin: irrigation in the 21st century*, volume 1: summary Report, Alberta Irrigation Projects Association, Lethbridge (Alberta), 2002, 175 p.

James, P., K Murphy, R. Espie, D. Gauthier et R. Anderson. *Predicting the impact of climate change on fragmented prairie biodiversity: a pilot landscape model*, Saskatchewan Environment and Resource Management - Canadian Plains Research Centre, Regina (Saskatchewan), 2001, 24 p.

Jensen, L.D. « Don't know much about water history? », *Electrical World New York*, vol. 212, n° 1, 1998, p. 37

Johnson, J.W. et L.J. Caster. « Tradeability of water rights: experiences of the western United States », dans *FAO Issues in Water Law Reform*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Bureau du contentieux, Rome, Italie, 1999, pp. 151-180.

Johnson, J.Y.M., J.E. Thomas, T.A. Graham, I. Townshend, J. Byrne, B. Selinger et V.P.J. Gannon. « Prevalence of Escherichia coli O157:H7 and Salmonella spp. in surface waters of southern Alberta and its relation to manure sources », *Revue canadienne de microbiologie*, vol. 49, n° 5, 2003, pp. 326-335.

Johnston, M. « The role of disturbance in boreal mixedwood forests of Ontario », dans *Advancing Boreal Mixedwood Management in Ontario: Proceedings of a Workshop*, C.R. Smith et G.W. Crook (comp.), Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Grands Lacs, Sault Ste. Marie (Ontario), 1996, pp. 33-40.

Johnston, M. et T. Williamson. « Climate change implications for stand yields and soil expectation values: A northern Saskatchewan case study », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, n° 5, 2005, pp. 683-690.

Jones, B. « The cost of safety and mobility in Canada: winter road maintenance », chapitre 4 dans *Weather and Road Transportation*, J. Andrey et C.K. Knapper (éd.), University of Waterloo, Waterloo (Ontario), Department of Geography Publication Series, Monograph 55, 2003.

Jones, B. et D. Scott. « Climate change, seasonality and visitation to Canada's national parks », *Journal of Parks and Recreation Administration*, vol. 24, n° 2, 2006, pp. 42-62.

Jones, D.K.C. « Global warming and geomorphology », *The Geographical Journal*, vol. 159, n° 2, 1993, pp. 124-130.

Jones M. et M. Schmeiser, « Community economic viability in rural Saskatchewan », *Prairie Forum*, vol. 29, n° 2, 2004, pp. 281-300.

Joyce, L., D. Ojima, G. Seielstad, R. Harriss et I. Lackett. « Potential consequences of climate variability and change for the Great Plains », chapitre 7 dans *The Potential Consequences of Climate Variability and Change*, rapport rédigé à l'intention du US Global Change Research Programme, National Assessment Synthesis Team, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2001, pp. 191-217.

Kasperson, R. et J. Kasperson. « Climate change, vulnerability and social justice », dans *The Social Contours of Risk*, Volume I: Publics, Risk Communication, and the Social Amplification of Risk, J. Kasperson et R. Kasperson (éd.), Earthscan, Londres, Royaume-Uni, 2005, pp. 281-300.

Kellomaki, S. et S. Leinonen (éd.). *Management of European forests under changing climatic conditions*, Université de Joensuu, Joensuu, Finlande, Faculté de Foresterie, Rapport de recherche163, 2005, 21 p.

Kharin, V.V. et F.W. Zwiers. « Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM », *Journal of Climate*, vol. 13, n° 21, 2000, pp. 3760-3788.

Kharin, V.V. et F.W. Zwiers. « Estimating extremes in transient climate change simulations », *Journal of Climate*, vol. 18, n° 8, 2005, pp. 1156-1173.

Kienzle, S.W. « The use of the recession index as an indicator for streamflow recovery after a multi-year drought », *Water Resources Management*, vol. 20, n° 6, 2006, pp. 991-1006.

Kimmins, J.P. *Forest Ecology*, 2e édition, Prentice-Hall, New York, New York, 1997, 596 p.

Knutilla, M. « Globalization, economic development and Canadian agricultural policy », dans *Farm Communities at the Crossroads: Challenge and Resistance*, H.P. Diaz, J. Jaffe et R. Stirling (éd.), Canadian Plains Research Centre, Regina (Saskatchewan), 2003, pp. 289-302.

Koca, D., B. Smith et M.T. Sykes. « Modelling regional climate change effects on potential natural ecosystems in Sweden », *Climatic Change* ,vol. 78, n° 2-4, 2006, pp. 381-406.

Kochy, M. et S.D. Wilson. « Nitrogen deposition and forest expansion in the northern Great Plains », *Journal of Ecology*, vol. 89, n° 5, 2001, pp. 807-817.

Kovats, R.S., S.J. Edwards, S. Hajat, B.G. Armstrong, K.L. Ebi, B. Menne et le groupe collaborateur. « The effect of temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries », *Epidemiology of Infection*, vol. 132, n° 3, 2004, pp. 443-453.

Kumar, A. *A conceptual comparison of using bioenergy options for BC's mountain pine beetle infested wood*, rapport final remis à la Biocap Canada Foundation, Kingston (Ontario), Research Integration Program, 2005, 43 p., <http://www.biocap.ca/rif/report/Kumar_A.pdf>, [consultation : 4 juin 2007].

Kuryk, D. « Seasonal transportation to remote communities – what if? »; dans *Moving Beyond the Roads: Airships to the Arctic Symposium II Proceedings*, tenu du 21 au 23 octobre 2003 à Winnipeg (Manitoba), B.E. Prentice, J. Winograd, A. Phillips et B. Harrison (éd.), University of Manitoba Transport Institute, 2003, pp. 40-49.

Lang, L. « Danger in the dust », *Environmental Health Perspectives*, vol. 104, n° 1, 1996, pp. 26-30.

Lantz, T.C. et N.J. Turner. « Traditional phenological knowledge of Aboriginal peoples in British Columbia », *Botanical Electronic News*, no 323 (13 février, 2004), 2004, pp. 1-6.

Lapp, S., J. Byrne, I. Townshend et S. Kienzle. « Climate warming impacts on snowpack accumulation in an alpine watershed: a GIS based modeling approach », *International Journal of Climatology*, vol. 25, n° 3, 2005, pp. 521-536.

Laprise, R., D. Caya, A. Frigon et D. Paquin. « Current and perturbed climate as simulated by the second-generation Canadian Regional Climate Model (CRCM-II) over northwestern North America », *Climate Dynamics*, vol. 21, no 5-6, 2003, pp. 405-421.

LaRoe, E.T. et D.H. Rusch. « Changes in nesting behavior of Arctic geese », dans *Our Living Resources. A Report to the Nation on the Distribution, Abundance, and Health of U.S. Plants, Animals, and Ecosystems*, E.T. LaRoe, G.S. Farris, C.E. Puckett, P.D. Doran et M.J. Mac (éd.), United States Department of the Interior, National Biological Service, Washington, DC, 1995, pp. 388-389.

Last, J., K. Trouton et D. Pengelly. *Taking our breath away: the health effects of air pollution and climate change*, David Suzuki Foundation, Vancouver (Colombie-Britannique), 1998, 51 p.

Lawson, B.D. « Trends in blizzards at selected locations on the Canadian Prairies », *Natural Hazards*, vol. 29, n° 2, 2003, pp. 123-138.

Leggett, J., W.J. Pepper et R.J. Swart. « Emissions scenarios for the IPCC: an update », dans *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, J.T. Houghton, B.A. Callander, et S.K. Varney (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 1992, pp. 69-96.

Lemmen, D.S. et R.E. Vance. « An overview of the Palliser Triangle Global Change Project », dans *Holocene Climate andEnvironmental Change in the Palliser Triangle: A Geoscientific Context for Evaluating theImpacts of Climate Change on the Southern Canadian Prairies*, D.S. Lemmen et R.E. Vance (éd.), Commission géologique du Canada, Bulletin 534, 1999, pp. 7-22.

Lemmen, D.S., R.E. Vance, I.A. Campbell, P.P. David, Pennock, D.J. Sauchyn et S.A. Wolfe. *Geomorphic systems of the Palliser Triangle: description and response to changing climate*, Commission géologique du Canada, Bulletin 521, 1998, pp. 1-72.

Lemmen, D.S. et F.J. Warren. *Climate Change Impacts and Adaptation: A Canadian Perspective*, Government of Canada, 2004, 174 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/index_e.php>, [consultation : 6 mai 2007].

Lemon, E. (éd.). *CO_2 and Plants – the response of plants to rising levels of atmospheric carbon dioxide*, Westview Press, Boulder, Colorado, 1983, 350 p.

Leung, L.R. et S.J. Ghan. « Pacific Northwest climate sensitivity simulated by a regional climate model driven by a GCM. Part II: 2 x CO_2 Simulations », *Journal of Climate*, vol. 12, n° 7, 1999, pp. 2031-2053.

Lindenmayer, D.B., D.R. Foster, J.F. Franklin, M.L. Hunter, R.F. Noss, F.A. Schmiegelow et D. Perry. « Salvage harvesting policies after natural disturbance », *Science*, vol. 303, n° 5662, 2004, p 1303.

Little, J.L., K.A. Saffran et L. Fent. « Land use and water quality relationships in the lower Little Bow River watershed, Alberta, Canada », *Water Quality Research Journal of Canada*, vol. 38, n° 4, 2003, pp. 563–584.

Lloyd, A. H. « Ecological histories from Alaskan tree lines provide insight into future change », *Ecology*, vol. 86, n° 7, 2005, pp. 1687–1695.

Loehle, C. et D. LeBlanc. « Model-based assessments of climate change effects on forests: a critical review », *Ecological Modelling*, 1996, vol. 90, n° 1, 1996, pp. 1-31.

Logan, J.A., J. Régnière et J.A. Powell. « Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics », *Frontiers in Ecology and Environment*, vol. 1, n° 3, 2003, pp. 130-137.

Long, S.P., E.A. Ainsworth, A. Rogers et D.R. Ort. « Rising atmospheric carbon dioxide: plants FACE the future », *Annual Review of Plant Biology*, vol. 55, 2004, pp. 591-628.

Lopoukhine, N. « National parks, ecological integrity and climate change », dans *Climatic Change: Implications for Water and Ecological Resources*, G. Wall et M. Sanderson (éd.), University of Waterloo, Waterloo (Ontario), Department of Geography publication series, Publication hors-série no 11, 1990, pp. 317-328.

Luckman B.H. et R.J.S. Wilson. « Summer temperature in the Canadian Rockies during the last millennium – a revised record », *Climate Dynamics*, vol. 24, n° 2–3, 2005, pp. 131–144.

Maathuis, H. et L.H. Thorleifson. « Potential impact of climate change on prairie groundwater supplies: review of current knowledge », *Prairie Adaptation Research Collaborative Report # QS-6*, Saskatchewan Research Council Publication No.11304-2E00, 2000, 23 p.

Macdonald, G., J. Szeicz, J. Claricoates et K. Dale). « Response of the central Canadian treeline to recent climatic changes », *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 88, n° 2, 1998, pp. 183-208.

Mailman, M., L. Stepnuk, N. Cicek et R.A. Bodaly. « Strategies to lower methyl mercury concentrations in hydroelectric reservoirs and lakes: A review », *Science of the Total Environment*, vol. 368, n° 1, 2006, pp. 224-235.

Majorowicz, J., J. Safanda et W. Skinner. « East to west retardation in the onset of the recent warming across Canada inferred from inversions of temperature logs », *Journal of Geophysical Research*, vol. 107, n° 10, 2002, pp. 6-1 – 6-12.

Majorowicz, J. A., W. R. Skinner et J. Safanda. « Ground Surface Warming History in Northern Canada Inferred from Inversions of Temperature Logs and Comparison with Other Proxy Climate Reconstructions », *Pure and Applied Geophysics*, vol. 162, n° 1, 2005, pp. 109-128.

Nakicenovic

Malcolm, J. et A. Markham. « Ecosystem resilience, biodiversity and climate change: setting limits », *Parks*, vol. 6, 1996, pp. 38-49.

Malcolm, J. et A. Markham. *Global warming and terrestrial biodiversity decline*, World Wildlife Fund, Gland, Suisse, 2000, 34 p.

Manitoba Science, Technology, Energy and Mines. *Manitoba innovation framework: hydro and alternative energy development*, Manitoba Science, Technology, Energy and Mines, 2007, <http://www.gov.mb.ca/est/innovation/hydroel.html>, [consultation : 4 juillet 2007].

Manitoba Transportation and Government Services. *Annual report: 2005–2006*, Manitoba Transportation and Government Services, 2006, 127 p., <http://www.gov.mb.ca/tgs/documents/tgsannual05.pdf>, [consultation : 5 juin 2007].

Marbek Resource Consultants. *Impacts of climate change on transportation in Canada*, rapport final rédigé pour Transports Canada de l'atelier de Canmore tenu le 30 et 31 janvier 2003 à Canmore (Alberta), 2003, 35 p., <http://www.tc.gc.ca/programs/environment/nwicct/docs/FullWorkshopReport/Full%20Workshop%20Report.pdf>, [consultation : 19 juin 2007].

Marsalek, J., W.E. Watt, L. Lefrancois, B.F. Boots et S. Woods. « Municipal water supply and urban development », dans *Threats to Water Availability in Canada*, Environnement Canada, Institut national de recherches sur les eaux, NWRI Scientific Assessment Report Series, no 3 et ACSD Science Assessment Series, no 1, 2004, pp. 35–40.

May, J.J. « Issues in agricultural health and safety », *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 18, n° 1, 1990, pp. 121-131.

McCullough, G., M. Stainton et H. Kling. « Environmental controls of algal blooms in Lake Winnipeg », présentation faite à la réunion des associations canadiennes des ressources hydriques, 2006, <http://www.cwra.org/About_CWRA/CWRA_Branches/Manitoba/CWRA_MB_Forum/CWRA_2006_LW_AVHRR_vs_Chl_G_McCullough.pdf>, [consultation : 5 juin 2007].

McGeehin, M.A. et M. Mirabelli. « The potential impacts of climate variability and change on temperature-related morbidity and mortality in the United States », *Environmental Health Perspectives*, vol. 109, supplément n° 2, 2001, pp. 185-189.

McKerracher, D. « Increasing drinking water use efficiency in a commercial Alberta pork production facility », *Advances in Pork Production*, vol. 18, 2007, pp. 83–90.

McMartin, D.W., J.V. Headley, D.A. Friesen, K.M. Peru et J.A. Gillies. « Photolysis of naphthenic acids in natural surface water », *Journal of Environmental Science and Health*, Part A – Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering, vol. 39, n° 6, 2004, pp. 1361–1383.

McRae, T., C.A.S. Smith et L.J. Gregorich (éd). *Environmental sustainability of Canadian agriculture: report of the agri-environmental indicator project. a summary*, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa, 2000, 220 p.

Mellgren, P.G. et E. Heidersdorf. *The use of high floatation tires for skidding in wet and/or steep terrain*, Institut canadien de recherches en génie forestier, Vancouver (Colombie-Britannique), Rapport technique no TR-57, 1984, 47 p.

Mendis, S., S. Mills et J. Yantz. *Building community capacity to adapt to climate change in resource-based communities*, Service canadien des forêts, document de travail, 2003, 84 p.

Michels, A., K.R. Laird, S.E. Wilson, D. Thomson, P.R. Leavitt, R.J. Oglesby et B.F. Cumming. « Multi-decadal to millennial-scale shifts in drought conditions on the Canadian Prairies over the past six millennia: implications for future drought assessment », *Global Change Biology*, sous presse.

Middleton, N. et D.S.G. Thomas. *World Atlas of Desertification*, Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Edward Arnold, Londres, Royaume-Uni, 1992, 69 p.

Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well being: wetlands and water synthesis*, World Resources Institute, Washington, DC, 2005, 68 p.

Miller, J.J., K.F.S.L. Bolton, R.C. de Loe, G.L. Fairchild, L.J. Gregorich, R.D. Kreutzwiser, N.D. MacAlpine, L. Ring et T.S. Veeman. « Limits on rural growth related to water », dans *The Health of Our Water – Toward Sustainable Agriculture in Canada*, D.R. Coote et L.J. Gregorich (éd.), Agriculture et Agro-alimentaire Canada. Direction de la plannification et de la coordination de la recherche, Secteur de la recherche, 2000, pp. 131–139.

Mills, B. et J. Andrey. « Climate change and transportation: potential interactions and impacts », dans *The Potential Impacts of Climate Change on Transportation*, Federal Research Partnership Workshop October 1-2, 2002, Summary and Discussion Papers, Department of Transportation Center for Climate Change and Environmental Forecasting, 2002, pp. 77-88, <http://climate.dot.gov/workshop1002/workshop.pdf>, [consultation : 5 juin 2007].

Mills, J.N., T.L. Yates, T.G. Ksiazek, C.J. Peters et J.E. Childs. « Long-term studies of hantavirus reservoir populations in the southwestern United States: rationale, potential, and methods », *Emerging Infectious Diseases*, vol. 5, n° 1, 1999, pp. 95–101.

Millson, M., M. Bokhout, J. Carlson, L. Spielberg, R. Aldis, A. Borczyk et H. Lior. « An outbreak of Campylobacter jejuni gastroenteritis linked to meltwater contamination of a municipal well », *Revue canadienne de santé publique*, vol. 82, n° 1, 1991, pp. 27-31.

Milne, W. « Changing climate, uncertain future considering rural women in climate change policies and strategies », *Canadian Woman Studies*, vol. 24, n° 5, 2006, pp. 49–54.

Mooney, S. et L.M. Arthur. « The impacts of climate change on agriculture in Manitoba », *Revue canadienne d'agroéconomie*, vol. 38, n° 4, 1990, pp. 685-694.

Moore, R.D., J.G. McKendry, K. Stahl, H.P. Kimmins et Y.H. Lo. *Mountain pine beetle outbreaks in western Canada: coupled Influences of climate variability and stand development*, Ressources naturelles Canada, Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, rapport final du Projet A676, 2005, 60 p.

Mossler, M. « Environmental hazard analysis and small island states: rethinking academic approaches », *Geographische Zeitschrift*, vol. 84, n° 2, 1996, pp. 86-93.

Myneni, R., C. Keeling, C. Tucker, G. Asrar et R. Nemani. « Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981-1991 », Nature, vol. 386, n° 6626, 1997, pp. 698-702.

Nakićenović, N. et R. Swart (éd.). *Special Report on Emissions Scenarios : A Special report of Woking Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2000, 570 p.

National Association of Home Builders (NAHB). « Rebuilding Katrina-destroyed homes at least a year away », *Nation's Building News*, vol. 10, 10 octobre, 2005, 1 p.

National Forestry Database Program - http://www.nfdp.ccfm.org/index_e.php

Nelson, F.E., O.A. Anisimov et N.I. Shiklomanov. « Climate change and hazard zonation in the circum-Arctic permafrost regions », *Natural Hazards*, vol. 26, n° 3, 2002, pp. 203–225.

Neudoerffer, R.C. « Lessons from the past – Lessons for the future: a case study of community-based adaptation on the Canadian Prairies », présentation faite à la conférence « Adapting to Climate Change in Canada 2005 », tenue le 4 mai 2005 à Montréal (Québec), 2005, 23 p., <http://adaptation2005.ca/abstracts/pdf/neudoerffercynthia.pdf>, [consultation : 5 juin 2007].

Nicholls, S. et D. Scott. « Implications for climate change for outdoor recreation in North America », *Journal of Leisure Research*, sous presse.

Norby, R.J., E.H. DeLucia, B. Gielen, C. Calfapietra, C.P. Giardina, J.S. King, J. Ledford, H.R. McCarthy, D.J.P. Moore, R. Ceulemans, P. De Angelis, A.C. Finzi, D.F. Karnosky, M.E. Kubiske, M. Lukac, K.S. Pregitzer, G.E. Scarascia-Mugnozza, W.H. Schlesinger et R. Oren. « Forest response to elevated CO_2 is conserved across a broad range of productivity », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 102, n° 50, 2005, pp. 18052–18056.

Nvirfa, W. et W. Harron. *Assessment of climate change on the agricultural resources of the Canadian Prairies*, Agriculture et Agro-alimentaire Canada, Regina (Saskatchewann et Prairie Adaptation Research Collaborative, Projet QS-3, rapport final, 2001, 27 p.

Office national de l'énergie. *Canada's oil sands: opportunities and challenges to 2015 – an update*; Office national de l'énergie, Calgary (Alberta), juin 2006, 85 p.

Olson, K.R. et R.P. Schellenberg. « Farm stressors », *American Journal of Community Psychology*, 1986, vol. 14, n° 5, pp. 555-569.

Oren, R., D. Ellsworth, K. Johnsen, N. Phillips, B. Ewers, C. Maier, K. Schafer, H. McCarthy, G. Hendrey, S. McNulty et G. Katul. « Soil fertility limits carbon sequestration by forest ecosystems in a CO_2-enriched atmosphere », *Nature*, vol. 411, n° 6836, 2001, pp. 469-472.

Organisation mondiale de la santé. *Climate change and human health: risks and responses*, Organisation mondiale de la santé, Genève (Suisse), 2003, 322 p.

O'Riordan, J. *Social institutions and climate change: applying cultural theory to practice*, University of East Anglia, Norwich, Royaume-Uni, Document de travail (GEC), 1997, 59 p.

O'Riordan, T. et J. Jager. *Politics of climate change in Europe: A European Perspective*, Routledge, New York, New York, Londres, 1996, 416 p.

Overpeck, J.T., B.L. Otto-Bliesner, G.H. Miller, D.R. Muhs, R.B. Alley et J.T. Kiehl. « Paleoclimatic evidence for future ice-sheet instability and rapid sea-level rise », *Science*, vol. 311, n° 5768, 2006, pp. 1747–1750.

Parisien, M.A., K.G. Hirsch, S.G. Lavoie, J.B. Todd et V.G. Kafka. *Saskatchewan fire regime analysis*, Ressources naturelles Canada, Centre de foresterie du Nord, Service canadien des forêts, rapport d'information NOR-X-394, 2004, 61 p.

Parker, W.C., S.J. Colombo, M.L. Cherry, M.D. Flannigan, S. Greifenhagen, R.S. McAlpine, C. Papadopol et T. Scarr. « Third millennium forestry: what climate change might mean to forests and forest management in Ontario », *The Forestry Chronicle*, 2000, vol. 76, n° 3, pp. 445-463.

Paul, A. et C. Saunders. « Melting ice roads pose Manitoba supplies emergency », *The Edmonton Journal*, 14 janvier 2002, p. A5.

Pearce, F. « Climate warning as Siberia melts », *New Scientist*, vol. 187, n° 2512, 2005, pp.12-12, 1p, 1c.

Pernetta, J. « Editorial preface », dans *Impacts of Climate Change on Ecosystems and Species: Implications for Protected Areas*, J. Pernetta ,R. Leesman, D. Elder et S. Humphrey (éd.), International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Suisse, 1994, pp. vi-viii.

Phifer, J.F. « Psychological distress and somatic symptoms after natural disaster: differential vulnerability among older adults », *Psychology and Aging*, vol. 5, n° 3, 1990, pp. 412–420.

Phifer, J.F., K.Z. Kaniasty et F.H. Norris. « The impact of natural disaster on the health of older adults: A multiwave prospective study », *Journal of Health and Social Behavior*, vol. 29, n° 1, 1988, pp. 65-78.

Pietroniro, A., B. Toth et J. Toyra. « Water availability in the South Saskatchewan River basin under climate change », présentation faite à la conference intitulée Climate Change and Water in the Prairies tenue le 22 juin 2006 à, Saskatoon (Saskatchewan), 2006.

Plunkett, S.W., C.S. Henry et P.K. Knaub. « Family stressor events, family coping, and adolescent adaptation in farm and ranch families », *Adolescence*, vol. 34, n° 133, 1999, pp. 149-171.

Poiani, K. et W. Johnson. « Potential effects of climate change on a semi-permanent prairie wetland », *Climatic Change*, vol. 24, n° 3, 1993, pp. 213-232.

Policy Research Initiative. *Social capital as a public policy tool*, Gouvernement du Canada, rapport de projet, 2005, 34 p., <http://policyresearch.gc.ca/page.asp?pagenm=rp_sc_pub>.

Portes, A. « Social capital: its origins and applications in modern sociology », *Annual Review of Sociology*, vol. 24, 1998, pp. 1 – 24.

Prentice, B.E. et J. Thomson. « Airship fuel tankers for northern resource development: a requirement analysis », dans *Proceedings of the 38th Annual Conference of the Canadian Transportation Research Forum: Crossing Borders: Travel Trade, Security and Communication*, Ottawa (Ontario), 2003, pp. 592–606.

Putnam, R. « Social Capital: Measurement and Consequences », *Isuma*, vol. 2, n° 1, 2001, pp. 41-52.

Rannie, W.F. « A comparison of 1858–59 and 2000–01 drought patterns on the Canadian Prairies », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 31, n° 4, 2006, pp. 263–274.

Reilly, J. (éd.). « Impact of climate change on production agriculture and the US economy », dans *Agriculture: The Potential Consequences of Climate Variability and Change*, J.M. Reilly (éd.),Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2002, pp. 35-66.

Ressources naturelles Canada. *Land and freshwater areas*, Ressources naturelles Canada, Centre canadien de télédétection, Division GeoAccès, 2001, <http://atlas.nrcan.gc.ca/site/english/learningresources/facts/surfareas.html>, [consultation : 5 juin 2007].

Rittmaster, R., W.L. Adamowicz, B. Amiro et R.T. Pelletier. « Economic analysis of health effects from forest fires », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 36, n° 4, 2006, pp. 868–877.

Roach, R. *Economic transformations in western Canada*, Canada West Foundation, Dialogues, édition d'été, 2005, <http://www.cwf.ca/V2/files/Dialogue%20Summer%20Final2.pdf>, [consultation : 18 juin 2007].

Rose, J.B., P.R. Epstein, E.K. Lipp, B.H. Sherman, S.M. Bernard et J.A. Patz, « Climate variability and change in the United States: potential impacts on water- and foodborne diseases caused by microbiologic agents », *Environmental Health Perspectives*, vol. 109, supplément n° 2, 2001, pp. 211-220.

Rowe, J.S. *Land classification and ecosystem classification*, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 39, n° 1-3, 1996, pp. 11-20.

Rush, R., J. Ivey, R. de Loe et R. Kreutzwiser. *Adapting to climate change in the Oldman River watershed, Alberta: a discussion paper for watershed stakeholders*, University of Guelph, Guelph (Ontario), Department of Geography, Guelph Water Management Group, 2004, 26 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/52a_e.pdf>, [consultation : 18 juin 2007].

Rustad, L., J. Campbell, G. Marion, R.J. Norby, M.J. Mitchell, A.E. Hartley, J.H.C. Cornelissen et J. Gurevitch. « A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming », *Oecologia*, vol. 126, n° 4, 2001, pp. 543-562.

Rylander, R. « Lung diseases caused by organic dusts in the farm environment », *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 10, n° 3, 1986, pp. 221-227.

Sala, O.E., F.S. Chapin 3rd, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D.M. Lodge, H.A. Mooney, M. Oesterheld, N.L. Poff, M.T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker et D.H. Wall. « Global biodiversity scenarios for the year 2100 », *Science*, vol. 287, n° 5459, 2000, pp. 1770–1774.

Saporta, R., J. Malcolm et D. Martell. « Impacts du changement climatique sur les forêts canadiennes » chapitre 6 dans *L'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique* (Volume 7 sur les questions sectorielles), G. Koshida et A. Avis (éd.), Environnement Canada, 1998, pp. 345-416.

Sask Trends Monitor. *Population change, 2000 to 2004, Sask Trends Monitor*, vol. 22, n° 3, 2005, <http://www.cwf.ca/V2/files/Dialogue%20Summer%20Final2.pdf>, [consultation : 18 juin 2007].

Sauchyn, D.J. « Mass wasting processes », dans *Geomorphic Systems of the Palliser Triangle: Description and Response to Changing Climate*, D.S. Lemmen, R.E. Vance, I.A. Campbell, P.P. David, D.J. Pennock, D.J. Sauchyn et S.A. Wolfe (éd.), Commission géologique du Canada, Bulletin 521, 1998, 72 p.

Sauchyn, D.J. « Climate change impacts on agriculture in the Prairie Region », chapitre 6 dans *Farming in a Changing Climate: Agricultural Adaptation in Canada*, E. Wall, B. Smit et J. Wandel (éd.), UBC Press, Vancouver (Colombie-Britannique), 2007.

Sauchyn, D.J., E. Barrow, R.F. Hopkinson et P. Leavitt. « Aridity on the Canadian Plains », *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 56, n°s 2-3, 2002a, pp. 247-259.

Sauchyn, D.J., J. Byrne, N. Henderson, D. Johnson, M. Johnston, S. Keinzle et E. Wheaton. *Assessment of biophysical vulnerability, Alberta Environment, Alberta Vulnerability Assessment Project*, rapport final, 2007, 79 p.

Sauchyn, D.J., S.D. Kenney et J. Stroich. « Drought, climate change and the risk of desertification on the Canadian plains », *Prairie Forum*, vol. 30, n° 1, 2005, pp. 143-156.

Sauchyn, D.J., J. Stroich et A. Beriault. « A paleoclimatic context for the drought of 1999-2001 in the northern Great Plains », *The Geographical Journal*, vol. 169, n° 2, 2003, pp. 158-167.

Sauvé, R. « Canadian age trends and transitions to 2016 », *People Pattern Consulting*, Sooke (Colombie-Britannique), 2003, 51 p.

Schindler, D.W. et W.F. Donahue. « An impending water crisis in Canada's western Prairie Provinces », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, early edition, 2006, 7. p., http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0601568103 [consultation : 18 juin 2007].

Schröter, D., W. Cramer, R. Leemans, I.C. Prentice, M.B. Araujo, N.W. Arnell, A. Bondeau, H. Bugmann, T.R. Carter, C.A. Gracia, A.C. de la Vega-Leinert, M. Erhard, F. Ewert, M. Glendining, J.I. House, S. Kankaanpaa, R.J.T. Klein, S. Lavorel, M. Lindner, M.J. Metzger, J. Meyer, T.D. Mitchell, I. Reginster, M. Rounsevell, S. Sabate, S. Sitch, B. Smith, J. Smith, P. Smith, M.T. Sykes, K. Thonicke, W. Thuiller, G. Tuck, S. Zaehle et B. Zierl. « Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe », *Science*, 2005, vol. 310, n° 5752, pp. 1333-1337.

Schuster, C.J., A.G. Ellis, W.J. Robertson, D.F. Charron, J.J. Aramini, B.J. Marshall et D.T. Medeiros. « Infectious disease outbreaks related to drinking water in Canada, 1974-2001 », *Revue canadienne de santé publique*, vol. 96, n° 4, 2005, pp. 254-258.

Scott, D. « Climate change and sustainable tourism in the 21st century », dans Tourism *Research: Policy, Planning, and Prospects*, J. Cukier (éd.), University of Waterloo, Waterloo (Ontario), Department of Geography Publication Series, sous presse.

Scott, D. et B. Jones. *Climate change and Banff National Park: implications for tourism and recreation*, rapport rédigé à l'intention de la ville de Banff (Alberta), Département de géographie, University of Waterloo, Waterloo (Ontario), 2005, 25 p.

Scott, D.et C. Lemieux. « Climate change and protected area policy and planning in Canada », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, n° 5, 2005, pp. 696-703.

Scott, D. et R. Suffling (éd.). *Climate change and Canada's national park system*, Environnement Canada et Parcs Canada, 2000, 218 p.

Scott, D., B. Jones et J. Konopek. « Exploring the impact of climate-induced environmental changes on future visitation to Canada's Rocky Mountain National Parks », *Tourism Review International*, vol. 28, 2007, pp. 570-579.

Scott, D., J. Malcolm et C. Lemieux. « Climate change and modelled biome representation in Canada's national park system: implications for system planning and park mandates », *Global Ecology and Biogeography*, vol. 11, n° 6, 2002, pp. 475-484.

Seguin, J. (éditeur). *Human Health in a Changing Climate: A Canadian Assessment of Vulnerabilities and Adaptive Capacity*, Santé Canada, sous presse.

Seneviratne, S.I., J.S. Pal, E.A.B. Eltahir et C. Schär. « Summer dryness in a warmer climate: a process study with a regional climate model », *Climate Dynamics*, vol. 20, n° 1, 2002, pp. 69–85.

Serveiss, V.B. et D.W. Ohlson. « Using ecological risk assessment principles in a source water protection assessment », *Human and Ecological Risk Assessment*, vol.13, 2007, pp. 402–417.

Service Alberta. *Alberta tourism statistics and trends*, Service Alberta 2005, <http://www.servicealberta.gov.ab.ca/>, [consultation : 30 mai 2007].

Simpson, J.C.G., R.M. Niven, C.A.C. Pickering, A.M. Fletcher, L.A. Oldham et H.M. Francis. « Prevalence and predictors of work related respiratory symptoms in workers exposed to organic dusts », *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 55, n° 10, 1998, pp. 668-672.

Smit, B. « Climate warming and Canada's Comparative position in agricultural production and trade », Environment Canada, *Climate Change Digest*, vol. 1, n° 9, 1989, pp. 1-9.

Smit, B., O. Pilifosova, I. Burton, B. Challenger, S. Huq, R.J.T. Klein et G. Yohe. « Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 877–912.

Smoyer-Tomic, K.E., J.D.A. Klaver, C.L. Soskolne et D.W. Spady. « Health consequences of drought on the Canadian Prairies », *EcoHealth*, vol. 1, supplément n° 2, 2004, pp. 144-154.

Smoyer-Tomic, K.E., R. Kuhn et A. Hudson. « Heat wave hazards: an overview of heat wave impacts in Canada », *Natural Hazards*, vol. 28, n° 2–3, 2003, pp. 463–485.

Sohngen, B. et R. Sedjo. « Impacts of climate change on forest product markets: Implications for North American producers », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, n° 5, 2005, pp. 669-674.

Soskolne, C.L., K.E. Smoyer-Tomic, D.W. Spady, K. McDonald, J.P. Rothe, J.D.A. Klaver. *Climate change, extreme weather events and health effects in Alberta*, Santé Canada, rapport final, rapport no 6795-15-2001/4400013, 2004, 485 p.

Special Areas Board. *Special areas water supply project*, résumé du projet, Special Areas Board, Hanna (Alberta), 2005, <http://www.specialareas.ab.ca/ProjectSummaryMay20am.pdf>, [consultation : 4 juillet 2007].

Spittlehouse, D.L. et R.B. Stewart. « Adaptation to climate change in forest management », *British Columbia Journal of Ecosystems and Management*, vol. 4, n° 1, 2003, pp. 1-11, <http://www.forrex.org/jem/2003/vol4/no1/art1.pdf>, [consultation : 18 juin 2007].

Square D. « Hospital evacuated, mental health issues dominated as Manitoba coped with flood of century », *Journal de l'Association médicale canadienne*, vol. 156, n° 12, 1997, pp. 1742-1745.

St. George, S. et E. Nielsen. « Paleoflood records for the Red River, Manitoba, Canada, derived from anatomical tree-ring signatures », *The Holocene*, vol. 13, n° 4, 2003, pp. 547-555.

St. George, S. et D. Sauchyn. « Paleoenvironmental perspectives on drought in western Canada », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 31, n° 4, 2006, pp. 197–204.

St. Louis, V. L., C. A. Kelly, E. Duchemin, J.W.M. Rudd et D.M. Rosenberg. « Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases to the atmosphere: a global estimate », *Bioscience*, vol. 50, n° 9, 2000, pp. 766-775.

Statistique Canada. *Bulletin d'analyse : régions rurales et petites villes du Canada*, no de catalogue 21-006-XIF2000002, vol. 2, n° 2, 2001a, <http://www.statcan.ca/francais/freepub/21-006-XIE/21-006-XIE2000002.pdf>, [consultation : 18 juin 2007].

Statistique Canada. *Recensement de l'agriculture de 2001*, Statistique Canada, 2001b, <http://www.statcan.ca/francais/agcensus2001/index.htm>, [consultation : 18 juin 2007].

Statistique Canada. *Trafic des transporteurs aériens aux aéroports canadiens*, Statistique Canada, 2004, 19 p., <http://www.statcan.ca/bsolc/francais/bsolc?catno=51-203-X>, [consultation : 18 juin 2007].

Statistique Canada. *2001 Census analysis series - Profile of the Canadian Population by Age and Sex: Canada Ages*, Catalogue no. 96F0030XIE2001002, septembre 2005, 2005d, <www.statcan.ca>, [consultation : janvier 2006].

Statistique Canada. *Recensement de 2001 : série "analyses" – Profil de la population canadienne selon l'âge et le sexe*, Statistique Canada, no de catalogue 96F0030X1F2001002, 2005a, <http://www12.statcan.ca/francais/census01/products/analytic/companion/age/images/96F0030XIE2001002.pdf>, [consultation : 18 juin 2007].

Statistique Canada. *Recensement de 2001 : série "analyses" – Profil de la population canadienne selon la mobilité : Les Canadiens en mouvement*, Statistique Canada, no de catalogue 96F0030X1F2001006, 2005b, <http://www12.statcan.ca/francais/census01/products/analytic/companion/mob/pdf/96F0030X1E2001006.pdf>, [consultation : 18 juin 2007].

Statistique Canada. *Stocks de bovines, par province*, Statistique Canada .CANSIM, tableau 003-0032, no de catalogue 23-012-X, 2005c, <http://www40.statcan.ca/l01/cst01/prim50a.htm>, [consultation : 18 juin 2007].

Statistique Canada. *Recensements de la population*, 1851 - 2001. Population urbaine et rurale, par province et territoire, Statistique Canada, 2005d, <http://www40.statcan.ca/l01/cst01/demo62i.htm>, [consultation : 18 juin 2007].

Statistique Canada. *Projections des populations autochtones, Canada, provinces et territoires, 2001 – 2017*, Statistique Canada, no de catalogue 91 - 547 - XIF, 2005e, <http://www.statcan.ca/francais/freepub/91-547-XIE/2005001/bfront1.htm>, [consultation : 18 juin 2007].

Statistique Canada. *Projection démographiques pour le Canada, les provinces et les territoires 2005–2031*, Statistique Canada, no de catalogue 91-520-XIF, 2005f, 213 p.

Statistique Canada. *Projections de la population des groupes de minorités visibles, Canada, provinces et régions*, Statistique Canada , no de catalogue 91-541-XIF, 2005g, 80 p.

Stedman, R., J. Parkins et T. Beckley. « Forest dependence and community well-being in rural Canada: variation by forest sector and region », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 35, n° 1, 2005, pp. 215-220.

Steedman, R.J. « Effects of experimental clearcut logging on water quality in three small boreal forest lake trout lakes », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 57, supplément n° 2, 2000, pp. 92-96.

Stephen, C., M. Johnson et A. Bell. « First reported cases of hantavirus pulmonary syndrome in Canada », *Agence de santé publique du Canada, Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 20, n° 15, 1994, pp. 121-125.

Stratton, E. *Local involvement in water management and adaptive capacity in the Oldman River basin*, thèse de maîtrise, University of Guelph, Guelph (Ontario), 2005, 309 p.

Stratton, E., R. de Loe et S. Smithers. « Adaptive capacity to climate change in the water sector and the role of local involvement in the Oldman River basin, Alberta », présentation faite à la 57e conférence annuelle de l'Association canadienne des ressources hydriques tenue du 16 au 18 juin 2004 à Montréal (Québec), 2004.

Stroh Consulting. *Agriculture adaptation to climate change in Alberta: Focus group results*, rapport rédigé pour l'Alberta Agriculture, Food and Rural Development, 2005, 54 p.

Strömgren, M. et S. Linder. « Effects of nutrition and soil warming on stemwood production in a boreal Norway spruce stand », *Global Change Biology*, vol. 8, 2002, pp. 1195–1204.

Sygna, L. *Climate vulnerability in Cuba: the role of social networks*, CICERO Centre for International Climate and Environment Research, document de travail 2005:01, 2005, 12 p., <www.cicero.uio.no>, [consultation : 19 juin 2007].

Taylor, S.W., A.L. Carroll, R.I. Alfaro et L. Safranyik. « Forest, climate and mountain pine beetle outbreak dynamics in western Canada », dans *The Mountain Pine Beetle: A Synthesis of Biology, Management, and Impacts on Lodgepole Pine*, L. Safranyik et B. Wilson (éd.), Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique, Initiative dendroctone du pin ponderosa, 2006, pp. 67–94.

TD Bank Financial Group. An update on the economy of the Calgary-Edmonton corridor: more action needed for the tiger to roar, *TD Economics Topic Paper*, 3 octobre 2005, 5 p.

Thorpe, J., N. Henderson et J. Vandall. *Ecological and policy implications of introducing exotic trees for adaptation to climate change in the western boreal*, Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication 11776-1E06, 2006, 111 p.

Thorpe, J., B. Houston et S. Wolfe. *Impact of climate change on grazing capacity of native grasslands in the Canadian Prairies*, Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication No. 11502-1E04, 2004, 55 p.

Thorpe, J., S. Wolfe, J. Campbell, J. LeBlanc et R. Molder. *An ecoregion approach for evaluating land use management and climate change adaptation strategies on sand dune areas in the Prairie Provinces*, Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication no. 11368-1E01, 2001, 284 p.

Transports Canada. *Transportation in Canada 2005: annual report*, Transports Canada, TP 13198E, 2005, 92 p., <http://www.tc.gc.ca/pol/en/report/anre2005/tc2005ae.pdf>, [consultation : 19 juin 2007].

Tyler, K.A. et D.R. Hoyt. « The effects of an acute stressor on depressive symptoms among older adults: the moderating effects of social support and age », *Research on Aging*, vol. 22, n° 2, 2000, pp. 143-164.

Vaisey, I.S., T.W. Weins et R.J. Wettlaufer. « The permanent cover program – is twice enough? », présentation faite à Soil and Water Conservation Policies: Successes and Failures, Prague (République Tchèque), du 17 au 20 septembre 1996.

Van de Geijn, S.C. et J. Goudriaan. « The effects of elevated CO_2 and temperature change on transpiration and crop water use », dans *Global Climate Change and Agricultural Production: Direct and Indirect Effects of Changing Hydrological, Pedological and Plant Physiological Processes*, F. Bazzaz et W. Sombroek (éd.), Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et John Wiley & Sons Inc., Chichester, Royaume-Uni, 1996, pp. 101-121.

van der Kamp, G. et D. Keir. Vulnerability of prairie lakes and wetlands to climate change - past, present and future, Union géophysique canadienne, réunion scientifique annuelle tenue du 8 au 11 mai 2005 à Banff (Alberta), 2005.

van der Kamp, G., M. Evans et D. Keir, « Lakes disappearing on the Prairies? An aquatic whodunnit », *Environzine*, no 63, 22 mars 2006, <http://www.nwri.ca/environzine/issue63-e.html>, [consultation : 11 mai 2007].

Van Kooten, G. C. « Economic effects of global warming on agriculture with some impact analyses for southwestern Saskatchewan », dans *Saskatchewan in a Warmer World: Strategies for the Future*, E. Wheaton, V. Wittrock et G. Williams (éd.), Saskatchewan Research Council, Publication E-2900-17-E-92, 1992.

Van Rees, K.C.J. et D. Jackson. *Response of three boreal tree species to ripping and rollback of roadways*, Prince Albert Model Forest, Prince Albert (Saskatchewan), Final Report, 2002, 26 p.

Vandall, J.P., N. Henderson et J. Thorpe. *Suitability and adaptability of current protected area policies under different climate change scenarios: the case of the Prairie Ecozone*, Saskatchewan, Saskatchewan Research Council, Publication 11755-1E06, 2006, 117 p.

Ville d'Edmonton. *FAQ, drought stressed trees*, Ville d'Edmonton, 2007, <http://www.edmonton.ca/portal/server.pt>, [accessed June 1, 2007].

Voaklander, D.C., K.D. Kelly, B.H. Rowe, D.P. Schopflocher, L. Svenson, L., N. Yiannakoulias et W. Pickett. « Pain, medication, and injury in older farmers », *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 49, n° 5, 2006, pp. 374-382.

Volney, W.J.A. et R.A. Fleming. « Climate change and impacts of boreal forest insects », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 82, n° 1-3, 2000, pp. 283-294.

Volney, W.J.A. et K.G. Hirsch. « Disturbing forest disturbances », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, 2005, pp. 662-668.

Walker, J.L., L.S. Walker et P.M. MacLennan. « An informal look at farm stress », *Psychological Reports*, vol. 59, n° 2, pt 1, 1986, pp. 427-430.

Wall, E., B. Smit et J. Wandel. *Canadian agri-food sector adaptation to risks and opportunities from climate change: position paper on climate change, impacts, and adaptation in Canadian agriculture*, Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation (C-CIARN) Agriculture, Guelph (Ontario), 2004, 56 p.

Wang, G.G., S. Chin et W. Bauerle. « Effect of natural atmospheric CO_2 fertilization suggested by open-grown white spruce in a dry environment », *Global Change Biology*, vol. 12, n° 3, 2006, pp. 601-610.

Watson, E. et B.H. Luckman. « Long hydroclimatic records from tree-rings in western Canada: potential, problems and prospects », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 31, n° 4, 2006, pp. 197-204.

Weber, M. et G. Hauer. « A regional analysis of climate change impacts on Canadian agriculture », *Analyse de politiques*, vol. 29, n° 2, 2003, pp. 163-180.

Weber, M.G. et M.D. Flannigan. « Canadian boreal forest ecosystem structure and function in a changing climate: impacts on fire regimes », *Environmental Reviews*, vol. 5, n° 3-4, 1997, pp. 145-166.

Wetherald, R. T. et S. Manabe. « Detectability of summer dryness caused by greenhouse warming », *Climatic Change*, vol. 43, n° 3, 1999, pp. 495-511.

Wheaton, E. « Forest ecosystems and climate », annexe B dans *The Canada Country Study: Climate Change and Adaptation, Volume III. Responding to Climate Change in the Prairies*, R. Herrington, B. Johnson et F. Hunter (éd.); Environnement Canada, 1997, pp. 1-31.

Wheaton, E. Climate change: past and future climate trends, impacts, adaptations, and vulnerabilities, Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication 11905-1E04, 2004, 30 p.

Wheaton, E.E., S. Kulshreshtha et V. Wittrock. *Canadian droughts of 2001 and 2002: climatology, impacts and adaptations*, rapport technique rédigé pour Agriculture et Agro-alimentaire Canada par le Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication 11602-1E03, 2005a, 1323 p.

Wheaton E., V. Wittrock, S. Kulshreshtha, G. Koshida, C. Grant, A. Chipanshi et B. Bonsal. *Lessons learned from the Canadian droughts years of 2001 and 2002: synthesis report*, Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication 11602-46E03, 2005b, 30 p.

Willems, S. et K. Baumert. *Institutional capacity and climate actions*, Organisation pour la coopération et le développement économiques, Direction de l'environnement, Agence internationale de l'Énergie, Publication COM/ENV/EPOC/IEA/SLT(2003)5, 2003, 50 p.

Williams, G.D.V. et E.E. Wheaton. « Estimating biomass and wind erosion impacts for several climatic scenarios: a Saskatchewan case study », *Prairie Forum*, vol. 23, n° 1, pp. 49-66 et Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication E-2900-12-E-95, 1998.

Williams, G.D.V, R.A. Fautley, K.H. Jones, R.B. Stewart et E.E. Wheaton. « Estimating effects of climatic change on agriculture in Saskatchewan, Canada », dans *The Impact of Climatic Variations on Agriculture. Volume 1: Assessments in Cool Temperate and Cold Regions*, M.L. Parry, T.R. Carter, et N.T. Konijn (éd.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Pays-Bas, 1988, p 221-371.

Williamson, T.B., J.R. Parkins et B.L. McFarlane. « Perceptions of climate change risk to forest ecosystems and forest-based communities », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, n° 5, 2005, pp. 710-716.

Willows, R. J. et R.K. Connell (éd.). *Climate adaptation: risk, uncertainty and decision-making*, UK Climate Impacts Programme, Oxford, Royaume-Uni, rapport technique, 2003, 153 p.

Wittrock, V. et G. Koshida. *Canadian droughts of 2001 and 2002: government response and safety net programs – agriculture sector*, Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication 11602-2E03, 2005, 24 p.

Wittrock, V, E.E. Wheaton et C.R. Beaulieu. *Adaptability of prairie cities: the role of climate*, Saskatchewan Research Council, Current and Future Impacts and Adaptation Strategies, Environment Branch, Publication 11296-1E01, 2001, 230 p.

Wolfe, S.A. et W.G. Nickling. *Sensitivity of eolian processes to climate change in Canada*, Commission géologique du Canada, Bulletin 421, 1997, 30p.

Wood, A.W., D.P. Lettenmaier et R.N. Palmer. « Assessing climate change implications for water resources planning », *Climatic Change*, vol. 37, n° 1, 1997, pp. 203-228.

Xenopoulos, M.A., D.M. Lodge, J. Alcamo, M. Marker, K. Schulze et D.P. Van Vuuren. « Scenarios of freshwater fish extinctions from climate change and water withdrawal », *Global Change Biology*, vol. 11, n° 10, 2005, pp. 1557-1564.

Yue, S., P.J. Pilon et B. Phinney. « Canadian streamflow trend detection: impacts of serial and cross correlation », *Hydrological Sciences Journal*, vol. 48, n° 1, 2003, pp. 51-64.

Zhang, X., K.D. Harvey, W.D. Hogg et T.R. Yuzyk. « Trends in Canadian streamflow », *Water Resources Research*, vol. 37, n° 4, 2001, pp. 987-998.

Zhang, X., L.A. Vincent, W.D. Hogg et A. Niitsoo. « Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th Century », *Atmosphere-Ocean*, vol. 38, n° 3, 2000, pp. 395-429.

CHAPITRE 8
Colombie-Britannique

Auteurs principaux :
Ian J. Walker[1] et Robin Sydneysmith[2]

Collaborateurs :
Diana Allen *(Simon Fraser University)*, Karin Bodtker *(Parcs Canada)*, Derek Bonin *(Greater Vancouver Regional District)*, Barry Bonsal *(Environnement Canada)*, Allan Carroll *(Ressources naturelles Canada)*, Stewart Cohen *(Environnement Canada)*, Audrey Dallimore *(Ressources naturelles Canada)*, Holly Dolan *(Agriculture et Agroalimentaire Canada)*, Ze'ev Gedalof *(Guelph University)*, Allison Gill *(Simon Fraser University)*, Richard Hebda *(Royal British Columbia Museum)*, Robert Hicks *(British Columbia Water and Waste Association)*, Phillip Hill *(Ressources naturelles Canada)*, Kim Hyatt *(Pêches et Océans Canada)*, Ralph Matthews *(University of British Columbia)*, Brian Menounos *(University of Northern British Columbia)*, Trevor Murdock *(Pacific Climate Impact Consortium)*, Denise Neilsen *(Agriculture et Agroalimentaire Canada)*, Rosemary Ommer *(University of Victoria)*, Andrew Pape-Salmon *(BC Hydro)*, Marlow Pellatt *(Parcs Canada)*, Daniel Peters *(University of Victoria)*, Terry Prowse *(University of Victoria)*, Dave Spittlehouse *(British Columbia Ministry of Forests and Range)*, Stephen Sheppard *(University of British Columbia)*, Bill Taylor *(Environnement Canada)*, Arelia Werner *(University of Victoria)*, Paul Whitfield *(Environnement Canada)*, Tim Williamson *(Ressources naturelles Canada)*, Johanna Wolfe *(Tyndall Centre for Climate Change Research)*, Monika Wynn *(University of Victoria)*

Notation bibliographique recommandée :

Walker, I.J. et R. Sydneysmith. « Colombie-Britannique », dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éditeurs), Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, pp. 329-386.

---

[1] Département de géographie, University of Victoria, Victoria (Colombie-Britannique).
[2] Département de sociologie, University of British Columbia, Vancouver (Colombie-Britannique).

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 333
1.1 Organisation du présent chapitre 333
1.2 Climat et géographie physique 333
1.3 Biogéographie et diversité écologique 334
1.4 Environnement humain 334
1.5 Problèmes régionaux 335

2 INDICATEURS DE LA VARIABILITÉ ET DU CHANGEMENT DU CLIMAT 336
2.1 Explication de la variabilité du climat 336
2.2 Température et précipitations 337
2.3 Phénomènes météorologiques extrêmes et phénomènes liés au climat 339
2.4 Hydrologie 340
2.5 Niveau de la mer 341
2.6 Écosystèmes 342
2.7 Résumé 342

3 RÉPERCUSSIONS SUR LES SECTEURS ET CAPACITÉ D'ADAPTATION 343
3.1 Gestion des ressources en eau 343
3.2 Pêches 344
3.3 Foresterie 346
3.4 Agriculture 347
3.5 Tourisme et loisirs 350
3.6 Parcs et zones protégées 351
3.7 Énergie 352
3.8 Infrastructures essentielles 354
3.9 Santé 355

4 VERS L'ADAPTATION : ÉTUDES DE CAS EN COLOMBIE-BRITANNIQUE 357
4.1 Collectivités côtières : vulnérabilités et adaptation à l'élévation du niveau de la mer 358
4.1.1 Nord-est de l'île Graham, Haïda Gwaii (îles de la Reine-Charlotte) 358
4.1.2 Banc Roberts, District régional du Grand Vancouver 360
4.1.3 Résumé et leçons apprises 361
4.2 Centre et nord de la Colombie-Britannique : les collectivités forestières et le dendroctone du pin ponderosa 362
4.2.1 Le dendroctone du pin ponderosa 362
4.2.2 Vulnérabilité des collectivités forestières 363
4.2.3 Équipe de travail sur le changement climatique et Initiative des écosystèmes forestiers de l'avenir de la Colombie-Britannique 365
4.3 Intérieur sud : régions de l'Okanagan et du bassin du Columbia 365
4.3.1 L'eau 365
4.3.2 L'agriculture 367
4.3.3 Les écosystèmes aquatiques et la pêche 370
4.4 Les régions métropolitaines : Vancouver et Victoria 370
4.4.1 Gestion de l'approvisionnement en eau 371
4.4.2 Gestion des eaux pluviales 372

5 CONCLUSIONS 373
5.1 Principaux messages et thèmes 373
5.2 Renforcement de la capacité d'adaptation 377

RÉFÉRENCES 378

PRINCIPALES CONCLUSIONS

Le changement climatique touche de plus en plus les paysages, les collectivités et les activités économiques de la Colombie-Britannique. Selon les projections, il devrait se poursuivre et ses répercussions directes et indirectes, s'accentuer. Parmi les principaux risques et possibilités d'adaptation associés au changement climatique en Colombie-Britannique figurent les suivants :

Un bon nombre de régions et de secteurs de la Colombie-Britannique connaîtront de plus en plus de pénuries d'eau. La diminution de la taille des glaciers et de l'accumulation annuelle de neige, les changements en ce qui concerne la quantité et la période des précipitations, et l'allongement des sécheresses feront baisser de plus en plus l'approvisionnement en eau durant les périodes de pointe. La concurrence s'accentuera entre les divers usagers de l'eau, ce qui aura des répercussions sur les accords transfrontaliers. Certaines mesures d'adaptation ont déjà été adoptées, dont la prise en considération des répercussions du changement climatique dans certains plans officiels de gestion de l'eau, l'augmentation de la capacité des réservoirs et divers projets de gestion de la demande.

La production d'hydroélectricité, surtout lorsque la consommation de pointe augmente en été, est particulièrement vulnérable au changement climatique. Or, l'hydroélectricité contribue actuellement pour près de 90 p. 100 à l'électricité utilisée par la Colombie-Britannique. Pour s'adapter, il faudra gérer la demande en électricité, qui devrait augmenter de 30 p. 100 à 60 p. 100 d'ici à 2025, et moderniser les infrastructures de production, deux actions d'adaptation déjà prévues dans les mesures actuelles de gestion et de planification. Les petites centrales hydroélectriques et les centrales au fil de l'eau pourraient certes augmenter la capacité, mais elles sont plus vulnérables aux variations du débit fluvial que les centrales dotées de grands réservoirs. L'expansion d'autres filières énergétiques, comme l'énergie éolienne, aidera également à répondre à l'accroissement de la demande future, mais ces dernières ne produisent actuellement qu'une petite fraction de l'électricité consommée par la province. Les centrales alimentées au charbon sont également envisagées, mais des doutes persistent quant à leur adoption car elles doivent maintenant satisfaire à des normes sévères d'émission nulle de gaz à effet de serre établies aux termes du nouveau plan énergétique de la Colombie-Britannique.

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes et des catastrophes naturelles qui en découlent aura une incidence sur les infrastructures essentielles de la Colombie-Britannique. Les tempêtes de vent, les incendies de forêt, les ondes de tempête, l'érosion côtière, les glissements de terrain, les tempêtes de neige, la grêle, les sécheresses et les inondations ont tous déjà d'importantes répercussions économiques sur les collectivités, les industries et les environnements de la Colombie-Britannique. Dans certaines régions côtières basses, l'élévation du niveau de la mer et l'augmentation dans la fréquence des tempêtes amplifiera certains risques. Les coûts de gestion et de réduction des répercussions des phénomènes météorologiques extrêmes sont à la hausse. Les réseaux de transport, les installations portuaires et les infrastructures de distribution de l'électricité et des communications de la Colombie-Britannique représentent des investissements importants, dont le remplacement ou la modernisation rendent possible l'adoption de mesures d'adaptation susceptibles d'intégrer de nouvelles évaluations des risques qui tiennent compte de l'évolution du climat et de l'élévation du niveau de la mer. La gestion intégrée des eaux pluviales, approche adoptée par le District régional du Grand Vancouver pour gérer les eaux de pluie afin de protéger la santé des cours d'eau urbains, prend maintenant en considération les répercussions du changement climatique. L'intégration du changement climatique dans la planification des infrastructures améliorera la gestion du risque et des coûts sur le cycle de vie, de façon à réduire la vulnérabilité des infrastructures essentielles de la Colombie-Britannique.

En Colombie-Britannique, les forêts, l'industrie forestière et les collectivités qui dépendent du secteur forestier sont vulnérables aux risques croissants liés au climat, dont les infestations de ravageurs et les incendies de forêt. L'épidémie de dendroctone du pin ponderosa touchait en 2007 environ 9,2 millions d'hectares de forêt. La gravité et la persistance de cette infestation sont liées aux pratiques de gestion du passé (p. ex., suppression des incendies) et au changement climatique. On s'attend à ce qu'il y ait de grands changements de l'hydrologie et de l'écologie dans les bassins hydrographiques dominés par le pin, en raison du taux de mortalité des arbres et de l'expansion considérable des activités d'exploitation forestière menées pour récupérer les arbres détruits par le

dendroctone. Il y aura, au début, des gains économiques substantiels, mais ils pourraient être suivis d'une instabilité économique et sociale prolongée si on ne prend pas la peine de planifier soigneusement. La concurrence internationale croissante dans le secteur forestier fera naître de nouveaux défis. Le projet sur les écosystèmes forestiers de l'avenir lancé par le ministère des Forêts et des Pâturages de la Colombie-Britannique constitue une première étape vers une planification à long terme de l'aménagement forestier qui tienne compte aussi bien du changement climatique que d'autres facteurs de perturbation.

Le changement climatique accentuera les stress que connaît actuellement le secteur des pêches en Colombie-Britannique, entre autres à cause de la propagation d'espèces exotiques envahissantes dans les eaux côtières, de l'élévation des températures de l'océan et des plans d'eau douce, et des changements des débits fluviaux (quant au volume, au moment de la survenue et à la température de l'eau). Pour ce qui est de la gestion de l'eau, le secteur des pêches en eau douce entrera de plus en plus en concurrence avec d'autres usages de l'eau (p. ex., hydroélectricité, irrigation, eau potable), particulièrement dans le sud de l'intérieur de la province. La vulnérabilité de la pêche au saumon du Pacifique aux impacts du changement climatique, aussi bien en milieu d'eau douce que d'eau salée, est aggravée par la valeur sociale, économique et écologique unique de cette espèce. L'aquaculture, qui contribue de plus en plus au développement économique de la côte, pourrait aider à assurer la sécurité alimentaire tout en diminuant le stress exercé sur la pêche d'espèces sauvages. Toutefois, les conséquences culturelles et écologiques de l'aquaculture, et de l'élevage du saumon en particulier, restent sujettes à controverse.

Le changement climatique a un effet à la fois positif et négatif sur le secteur agricole de la Colombie-Britannique. Les changements des précipitations et de l'apport en eau, des sécheresses plus fréquentes et plus longues, et une augmentation de la demande en eau exerceront des stress sur la capacité d'adaptation de la plupart des formes d'agriculture. Les conditions de croissance pourraient s'améliorer pour certaines cultures, ou dans certaines régions, mais la capacité des régions agricoles à prendre de l'expansion sera limitée par la qualité du sol et la disponibilité de l'eau. L'accroissement de la demande aux fins d'irrigation entrera en concurrence avec d'autres usages de l'eau, en particulier dans les régions de forte croissance.

La prise en considération de l'adaptation au changement climatique dans les processus décisionnels permet d'augmenter la résilience et de réduire les coûts et les répercussions à long terme liés au changement climatique. À l'heure actuelle, c'est ce qui se produit indirectement dans les grands centres urbains, où les pratiques de construction durable et la gestion de la demande en eau et en énergie découlent des efforts visant à améliorer la durabilité et à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Des régions sujettes aux sécheresses, comme la région de l'Okanagan et le district régional de la capitale de Victoria, ont adopté une politique dynamique de restriction de l'arrosage et offrent des rabais aux consommateurs qui se procurent des produits de remplacement plus efficaces qui présentent des avantages quant à leur potentiel d'adaptation et d'atténuation. La résilience des collectivités rurales et côtières éloignées découle de leur expérience et de leur exposition aux répercussions des phénomènes météorologiques extrêmes sur les infrastructures essentielles (p. ex., les routes proches des côtes, les traversiers, les services aériens, la production d'électricité et les communications) et sur les ressources naturelles (p. ex., pêches et forêts). De plus, les réseaux sociaux, le bénévolat, la diversification du revenu et la constitution de réserves d'aliments contribuent à la capacité d'adaptation et augmentent la résilience.

1 INTRODUCTION

1.1 ORGANISATION DU PRÉSENT CHAPITRE

Le présent chapitre offre un aperçu des répercussions du changement climatique en Colombie-Britannique et des problèmes d'adaptation dans cette province, en insistant surtout sur les travaux récents et actuels qui déboucheront sur des mesures d'adaptation. Les impacts du changement climatique en Colombie-Britannique et l'adaptation à ce changement varieront beaucoup selon les divers paysages, collectivités et activités socioéconomiques de la province. Les informations actuellement disponibles couvrent l'éventail des problèmes de façon inégale. Par exemple, de nombreuses études ont été menées sur certains domaines (comme les ressources hydriques et le secteur des pêches), mais il y en a très peu sur d'autres (comme l'énergie et le transport). En outre, ces informations portent surtout sur les répercussions du changement climatique, même si l'adaptation occupe de plus en plus d'importance dans les études récentes.

L'introduction donne une vue d'ensemble des paysages physique et humain de la Colombie-Britannique, et un résumé des principaux défis d'adaptation dans les diverses régions de la province. La section 2 traite des moteurs de la variabilité du climat en Colombie-Britannique, des tendances passées et des projections pour les principaux indicateurs biophysiques du changement climatique. À la section 3, on examine les implications de ces changements biophysiques dans le contexte de l'adaptation des principaux secteurs économiques à des stress multiples. La section 4 traite plus en détail de certaines questions d'ordre régional, sous la forme d'études de cas intégrées qui font ressortir le virage général de la recherche sur les impacts vers les mesures d'adaptation. La conclusion du chapitre offre une synthèse des thèmes communs, des principales conclusions et des enseignements tirés des informations présentées dans les sections précédentes.

1.2 CLIMAT ET GÉOGRAPHIE PHYSIQUE

La Colombie-Britannique est la région du Canada la plus diversifiée sur les plans physique et biologique. La proximité de l'océan Pacifique et la présence de plusieurs grandes chaînes de montagnes ont une incidence considérable sur son climat et ses écosystèmes (Valentine *et al.*, 1978). Sur la côte, l'air doux et humide du Pacifique se bute au paysage escarpé de la cordillère de la côte et se transforme en un climat maritime humide, caractérisé par des températures ambiantes annuelles supérieures à 5 °C et par des précipitations totales annuelles de plus de 1 000 mm (*voir* les figures 1 et 2). Certains des climats les plus chauds du Canada se manifestent le long de la côte sud et dans les régions de l'intérieur de la Colombie-Britannique. La côte centre-sud de la province se caractérise par un climat plus chaud et plus sec, dans l'ombre pluviométrique de l'île de Vancouver. Le climat le plus sec et le plus chaud de la Colombie-Britannique (steppe semi-aride) se trouve dans l'ombre pluviométrique de la cordillère de la côte et des monts Cascades, ainsi que dans les vallées du sud de l'intérieur, à l'ouest de la chaîne Columbia.

Un climat continental humide prédomine dans le centre et le sud-est de la Colombie-Britannique. Les Rocheuses arrêtent l'air arctique provenant des Prairies, phénomène qui a pour effet de tempérer le climat de la région en hiver. La presque totalité de cette région est située sur le plateau intérieur, soit le bassin hydrographique principal des fleuves Fraser et Columbia. Le climat du nord de la Colombie-Britannique est régi par l'apport d'air arctique froid, l'intensité d'un anticyclone continental et un apport d'air chaud et sec en été, le tout se traduisant par des climats subarctique et boréal caractérisés par des hivers très froids et des étés doux et courts. Le paysage de cette région est complexe, avec des montagnes et des plateaux qui se transforment progressivement vers le nord-est pour devenir les grandes plaines. Les précipitations moyennes annuelles sont faibles (moins de 500 mm) dans les plaines intérieures et les vallées, et atteignent plus de 1 000 mm le

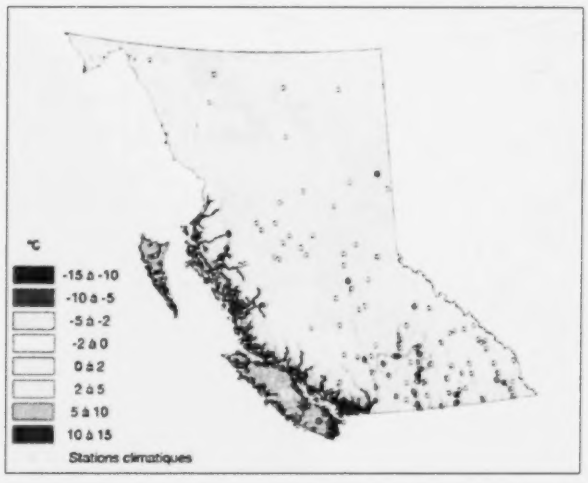


FIGURE 1 : Température moyenne annuelle en Colombie-Britannique déterminée à l'aide de la moyenne PRISM[3] établie pour la période allant de 1961 à 1990. La méthode numérique PRISM fonctionne par interpolations faites à partir d'observations provenant de stations situées à 4 km l'une de l'autre et prend en considération des facteurs physiques tels que l'orientation des pentes et l'altitude: cette méthode est considérée comme plus fiable que d'autres, surtout dans les régions qui comptent un grand nombre de stations d'observation et lorsque les observations ont été faites presque à la même altitude que les stations (Daly *et al.*, 2002).

[3] Parameter-Elevation Regressions on Independent Slopes Model: pour plus de renseignements, *voir* http://www.ocs.oregonstate.edu/prism/index.phtml.. [consultation : 18 mai 2007].

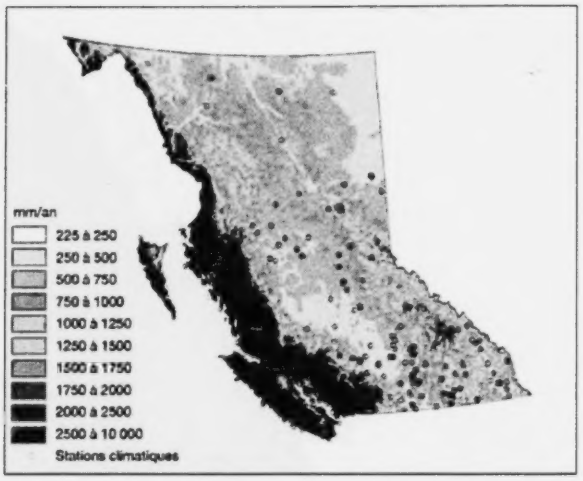


FIGURE 2 : Précipitations totales annuelles de la Colombie-Britannique déterminées à l'aide de la moyenne PRISM établie pour la période allant de 1961 à 1990 (*voir* la figure 1). Les climats les plus humides du Canada se manifestent sur la côte de la Colombie-Britannique, en particulier sur les pentes de l'île de Vancouver et des îles de la Reine-Charlotte, et de la chaîne côtière du continent.

long de la côte et dans les montagnes. Deux grands systèmes fluviaux, ceux de la rivière de la Paix et de la rivière Liard, traversent ce paysage.

La côte de la Colombie-Britannique jouit d'un climat maritime, frais et humide, influencé par le nord-est du Pacifique. L'hiver, les tempêtes cycloniques des moyennes latitudes touchent terre, apportant avec elles d'abondantes précipitations presque partout sur la côte. Les variations du climat hivernal résultent des changements de la fréquence et de l'intensité des tempêtes côtières dus en partie à la position de leurs trajectoires dominantes et à l'intensité de grands systèmes de basse pression, comme la dépression des Aléoutiennes. L'été, l'anticyclone subtropical remonte dans le nord-est du Pacifique, les tempêtes diminuent de fréquence et touchent terre plus au nord. Le climat de la Colombie-Britannique varie en réaction aux changements d'intensité de ces systèmes de pression océaniques, qui sont eux-mêmes associés aux changements de la température et des courants de l'océan. Par conséquent, la variabilité de la plupart des climats de la Colombie-Britannique est liée à des phénomènes océaniques et atmosphériques de grande échelle comme l'El Niño – oscillation australe (El Niño - Southern Oscillation, ou ENSO) et l'oscillation décennale du Pacifique (Pacific Decadal Oscillation, ou PDO; *voir* la section 2.1 et le chapitre 2).

1.3 BIOGÉOGRAPHIE ET DIVERSITÉ ÉCOLOGIQUE

La Colombie-Britannique se divise en 14 zones biogéoclimatiques (Krajina, 1965; Pojar et Meidinger, 1991; Hebda, 1998) qui se distinguent par leur climat, leur latitude, leur élévation et leur distance de la côte (*voir* la figure 3). Cette classification biogéoclimatique sert beaucoup à des fins de planification et de recherche (p. ex., Mitchell *et al.*, 1989; Hamann et Wang, 2006). La biodiversité varie d'une zone à une autre, aussi bien qu'au sein même des zones en question, bien que le sud et les régions basses comptent généralement plus d'espèces. Certaines régions, comme les montagnes du sud de la Colombie-Britannique, comptent jusqu'à six zones biogéoclimatiques qui abritent des milliers d'espèces et peuvent n'être distantes que de quelques kilomètres l'une de l'autre.

Les perturbations locales, comme les incendies, les insectes, les maladies, les déracinements par le vent et l'activité humaine, exercent une grande influence sur la répartition des espèces. Certaines d'entre elles, comme les infestations de dendroctone du pin ponderosa, sont aggravées par le changement climatique (*voir* la section 4.2). Les réactions de l'écosystème aux changements d'ordre climatique à venir seront localisées et dépendront de facteurs tant naturels qu'anthropiques, dont la sensibilité des espèces, l'ampleur du changement climatique et les caractéristiques qui entravent ou favorisent la migration des espèces, notamment l'étalement urbain et la présence de corridors de migration.

1.4 ENVIRONNEMENT HUMAIN

La capacité des collectivités et des secteurs économiques de la Colombie-Britannique à réagir et à s'adapter au changement climatique dépendra autant des caractéristiques sociales et économiques que de l'endroit et du climat. Quatre-vingt-cinq pour cent de sa population habite en région urbaine, surtout à Vancouver et à Victoria ou dans ses banlieues, ainsi que dans des noyaux régionaux, notamment Kelowna, Vernon, Kamloops, Prince George et Prince Rupert. La Colombie-Britannique rurale comprend de nombreuses petites villes et collectivités des Premières nations dispersées le long de la côte et à l'intérieur des terres. Le paysage social et culturel de la Colombie-Britannique change de bien des façons en réaction aux modifications économiques mondiales et locales ainsi qu'aux tendances de l'urbanisation, à l'immigration et à la technologie. Le changement climatique n'aura donc pas la même influence ni le même effet sur toutes ces collectivités.

FIGURE 3 : Les 14 zones biogéoclimatiques de la Colombie-Britannique (*tiré de* Pojar et Meidinger, 1991).

L'économie de la Colombie-Britannique repose depuis longtemps sur le prélèvement, la transformation et l'exportation des ressources naturelles, en particulier du bois, du poisson et des minerais. Dans les 15 à 20 dernières années, la contribution des ressources naturelles à l'économie de la province, par rapport à la production totale et au revenu d'emploi, a diminué en réaction à divers changements de nature environnementale, sociale et économique (*voir* la section 3). Les régimes de développement habituels et la relation entre les grands centres urbains et les régions rurales commencent à changer en réaction, entre autres, à la mondialisation (Matthews et Young, 2005). Malgré la transformation qui s'est amorcée, les ressources naturelles continuent de dominer les exportations de la province et demeurent particulièrement vitales à la santé sociale et économique des régions rurales de la Colombie-Britannique (Baxter et Ramlo, 2002; BC Ministry of Labour and Citizens' Services, 2004b).

Les tendances démographiques récentes constatées en Colombie-Britannique découlent de l'urbanisation et de l'immigration. C'est dans cette province qu'on trouve la deuxième population d'immigrants la plus élevée au Canada, après l'Ontario (Statistique Canada, 2001). La population de la Colombie-Britannique était de 4,25 millions en 2005 et, selon les projections, elle devrait atteindre 5,6 millions d'ici l'an 2031 (BC Ministry of Labour and Citizens' Services, 2005a; Statistique Canada, 2005). La croissance se concentre dans le District régional du Grand Vancouver (+8,5 p.100), la région de l'Okanagan (+8,2 p.100) et le District régional de Squamish-Lillooet (+12,3 p.100)[4]. Par contraste, certains districts du nord ou de la côte, comme le nord de l'île de Vancouver (-10,2 p. 100) et la région de Skeena-Queen Charlotte (-2,5 p. 100), ont connu récemment un déclin de leur population (Statistique Canada, 2001). Ce phénomène est dû en partie aux départs consécutifs à des pertes d'emploi dans des collectivités qui dépendent des ressources naturelles et à la baisse générale de l'économie dans les collectivités rurales et éloignées constatée au cours des 10 à 15 dernières années (Marchak *et al.*, 1999; Hayter, 2000; Baxter et Ramlo, 2002; Matthews, 2003; Hanlon et Halseth, 2005; Young, 2006a, b).

La Colombie-Britannique a toujours eu tendance à effectuer de grands virages politiques d'une élection à l'autre, ce qui a eu des effets tant positifs que négatifs sur sa capacité d'adaptation à l'échelle communautaire. La restructuration de la politique de développement des régions rurales et des ressources, et la prestation de services aux collectivités éloignées ont mené un bon nombre de collectivités à devenir des entrepreneurs audacieux (Young, 2006a) et à jouer un plus grand rôle dans la gestion des ressources locales, de développement communautaire et de prestation des services (Young, 2006a, b; Matthews et Young, 2007; Ommer, 2007). Dans le cas des petites collectivités à capacité d'adaptation limitée, relever ces défis à court terme limite leur possibilité de se préparer en même temps au changement climatique et de s'y adapter (Brenner et Theodore, 2002; Herbert-Cheshire et Higgins, 2004).

Un autre facteur important qui aura des conséquences sur les efforts d'adaptation de la Colombie-Britannique sera la signature de traités entre les Premières nations et les gouvernements du Canada et de la Colombie-Britannique[5] aux termes desquels la compétence et la responsabilité en matière de gestion et de planification de l'utilisation des ressources et des terres, pourraient changer de mains. La signature éventuelle de ces traités aura des répercussions importantes sur l'adaptation, même si on ne sait pas encore lesquelles, en particulier dans les régions rurales et côtières de la province.

1.5 PROBLÈMES RÉGIONAUX

Les répercussions du changement climatique et les modes d'adaptation varieront d'une région, ou d'un secteur économique, à l'autre de la Colombie-Britannique, puisqu'ils diffèrent considérablement (*voir* la section 3).

Environ 75 p.100 de la population de la Colombie-Britannique habite la région de Vancouver-Lower Mainland (soit la partie sud-ouest de la province), où la population et l'économie se sont grandement diversifiées au cours des dernières décennies. La technologie des communications, le monde du spectacle (en particulier la production de films), l'industrie légère, la culture en serre, la biotechnologie, la construction, la vente au détail et les services sont devenus des éléments importants de l'économie régionale, s'ajoutant à des secteurs bien établis comme le tourisme, le transport et l'activité portuaire (Vancouver Economic Development, 2006). Dans l'immédiat, la région consacre de gros investissements aux infrastructures des Jeux d'hiver 2010 et au soutien de la croissance et du développement prévus au cours des prochaines décennies. Gérer la croissance dans le contexte des objectifs du plan stratégique pour une région vivable, ou *Livable Region Strategic Plan* (Greater Vancouver Regional District, 1999), exigera de tenir compte du changement climatique et de planifier en conséquence. Le District régional de la capitale de Victoria, le pivot politique et administratif de la province, va probablement voir une poursuite de ces tendances démographiques et économiques. Les risques actuellement liés au climat, aussi bien dans le District régional du Grand Vancouver que dans le District régional de la capitale, sont des pénuries d'eau associées à des sécheresses fréquentes et les répercussions de phénomènes météorologiques extrêmes. On s'attend à ce que ces risques augmentent et aient des effets importants sur les infrastructures municipales (*voir* la section 4.4).

Dans le nord et le centre de la Colombie-Britannique, la prolifération actuelle de dendroctone du pin ponderosa met en évidence les liens entre le changement climatique, les cycles naturels des ravageurs et les pratiques de gestion des ressources (*voir* les sections 3.3 et 4.2). La réaction initiale à cette crise a été de doubler ou de tripler la récolte forestière afin de pouvoir tout au moins récupérer la valeur marchande des arbres infectés avant que ces derniers ne pourrissent. Malgré que des incertitudes persistent en ce qui concerne les conséquences sociales et environnementales de cette prolifération et des mesures prises à son égard, il n'en reste pas moins qu'elles constituent une source de préoccupation pour de nombreuses collectivités. Dans les régions les plus infestées, la gestion des répercussions actuelles et appréhendées de cette prolifération est devenue la question la plus pressante.

---

[4] On trouvera les projections de la croissance démographique ainsi qu'une analyse et des statistiques plus détaillées à <http://www.bcstats.gov.bc.ca/DATA/pop/popstart.asp>, [consultation : 18 mai 2007].

[5] Le *Treaty Commission* et le *Treaty Negotiation Process* ont été créés en 1992 en vue de favoriser la négociation de « traités justes et durables » entre les Premières nations de la province et les gouvernements du Canada et de la Colombie-Britannique (<http://www.bctreaty.net/files/publications.php>, [consultation : le 30 avril 2007]). Contrairement au reste du Canada, la plupart des peuples autochtones de la Colombie-Britannique n'ont jamais renoncé à leurs droits ni à leurs titres sur leurs territoires traditionnels (Tennant, 1990; Muckle, 1998). Les titres de propriété des Autochtones ont été officiellement reconnus par les tribunaux dans les années 1990 (Delgamuukw v. British Columbia, [1997] 3 S.C.R. 1010).

Le nord-est de la Colombie-Britannique connaît présentement un essor de l'exploitation du pétrole et du gaz naturel, qui a débuté dans les années 1990 et atteint son apogée en 2003 (Canadian Association of Petroleum Producers, 2005, 2006). La prospérité de la région attire des travailleurs de régions où le taux de chômage est élevé, que ce soit en Colombie-Britannique ou ailleurs au Canada. Peu de recherches ont porté sur les répercussions du changement climatique dans cette partie de la province, mais les obstacles à l'adaptation y sont probablement les mêmes que dans des régions adjacentes de l'Alberta (*voir* le chapitre 7).

Les collectivités situées dans la partie centre-nord de la côte de la Colombie-Britannique ont été le siège de changements sociaux et économiques importants dans les 10 à 20 dernières années, nombre d'entre elles souffrant d'un taux de chômage élevé couplé au stress social et au déclin démographique (Matthews, 2003; Ommer, 2006; Young, 2006a, b). Les collectivités du sud de la côte ont des défis semblables à relever, mais elles sont partiellement avantagées par la proximité des grands centres économiques que sont Vancouver et Victoria. L'avenir des collectivités côtières face au changement climatique et autres facteurs de stress dépendra de la diversification et du renouvellement de l'économie car toute mesure d'adaptation sera étroitement liée au développement régional. Les secteurs potentiels de diversification sont le tourisme, les forêts communautaires et l'aquaculture (BC Ministry of Environment, 1997a; Matthews et Young, 2005). Bien que tous ces secteurs aient leurs propres limites, l'aquaculture du saumon fait face à un défi particulier à cause de la nature des pratiques actuelles qui lui sont associées et qui font présentement l'objet de disputes d'ordre politique et écologique (*voir* la section 3.2; BC Ministry of Environment, 1997b; Gardner et Peterson, 2003; Naylor *et al.*, 2003; Morton *et al.*, 2005; Gerwing et McDaniels, 2006).

Le sud-est de la Colombie-Britannique se divise en deux sous-régions, unifiées par le rôle central que joue l'approvisionnement en eau dans les prises de décision en matière de gestion des ressources et d'utilisation des terres. La vallée de l'Okanagan compte de très nombreux vergers et plus de 90 p.100 des exploitations viticoles de la Colombie-Britannique (Northcote, 1996; BC Ministry of Labour and Citizens' Services, 1997, 2005c; Bremmer et Bremmer, 2004). Elle a connu une croissance et un développement rapides au cours des 20 dernières années, et elle soutient présentement un secteur du tourisme bien établi et une population croissante de retraités (McRae, 1997). Les ressources hydriques de la région sont déjà très sollicitées et le changement climatique ne fera qu'aggraver les pénuries d'eau à venir (*voir* la section 4.3; Cohen *et al.*, 2003, 2006). Une grande partie de la capacité de production d'hydroélectricité de la province est concentrée à l'est, dans la région de Columbia-Kootenay. Les répercussions du changement climatique sur l'accumulation annuelle de neige et les glaciers limiteront la quantité d'eau utilisable pour la production d'électricité dans la région, et déplaceront le moment où cette eau sera disponible. Ces changements aggraveront les problèmes de gestion de l'eau liés au défi de concilier des demandes d'eau concurrentes, aux fins d'usage domestique, de la part des secteurs de l'agriculture, des pêches, de l'industrie et du commerce, en plus des obligations envers les partenaires d'accords interprovinciaux et internationaux (Volkman, 1997; Smith *et al.*, 1998).

2 INDICATEURS DE LA VARIABILITÉ ET DU CHANGEMENT DU CLIMAT

2.1 EXPLICATION DE LA VARIABILITÉ DU CLIMAT

Deux grands phénomènes atmosphériques et océaniques ont une incidence considérable sur la variabilité du climat en Colombie-Britannique : 1) l'El Niño - oscillation australe (El Niño - Southern Oscillation, ou ENSO), et 2) l'oscillation décennale du Pacifique (Pacific Decadal Oscillation, ou PDO). Il semble s'agir de phénomènes naturels mais dont la fréquence et l'intensité varient en réaction à l'évolution du climat planétaire (Trenberth et Hurrell, 1994; Timmermann, 1999).

L'ENSO est un phénomène de la zone tropicale du Pacifique qui influe sur les régimes météorologiques planétaires, selon un cycle de 3 à 7 ans (*voir* le chapitre 2; Wolter et Timlin, 1993, 1998). Durant les épisodes d'El Niño à caractère chaud, les eaux des régions équatoriales du Pacifique remontent la côte ouest de l'Amérique du Nord et influent sur les températures à la surface de la mer, sur le niveau de la mer et sur le climat régional dans toute la Colombie-Britannique. C'est surtout en hiver et au printemps que les répercussions de l'ENSO sont les plus remarquables. En Colombie-Britannique, les épisodes d'El Niño entraînent un réchauffement (de 0,4° à 0,7 °C) et une baisse des précipitations, comparativement aux épisodes de La Niña qui se caractérisent par des conditions plus fraîches et plus humides (Climate Impacts Group, 2006).

L'oscillation décennale du Pacifique, de périodicité plus longue (environ 20 ans à 30 ans), a un effet comparable à l'ENSO sur la variabilité du climat, mais exerce son effet aux latitudes moyennes du nord-est du Pacifique (Mantua *et al.*, 1997). Sa phase positive (chaude) se caractérise par le réchauffement des eaux côtières dans le nord-est du Pacifique. Elle est associée à du temps légèrement plus chaud dans toute la Colombie-Britannique en hiver et au printemps, et à des effets variables sur les précipitations. La phase négative du PDO exerce un effet opposé, entraînant des conditions plus froides et humides. Le passage d'une phase de PDO à l'autre provoque des modifications importantes des régimes du climat et de l'océan, modifications dont les effets se font sentir sur les vents et les tempêtes, ainsi que sur la température et les courants de l'océan (Bond et Harrison, 2000; McPhaden et Zhang, 2002). Le PDO est passée d'une phase négative (froide) à une phase positive (chaude) en 1976 (Hare et Mantua, 2000) et, exception faite de la fin des années 1980 et du début des années 2000, s'y est maintenue.

Ces deux régimes de variabilité du climat sont liés, puisque le PDO amplifie ou atténue les effets de l'ENSO (Gershunov et Barnett, 1998; Biondi *et al.*, 2001), ce qui a une incidence non seulement sur la température et les précipitations, mais également sur l'accumulation annuelle de neige, le débit fluvial, les jours propices à la croissance, les périodes sans gel, les vents, les niveaux saisonniers de la mer et les ondes de tempête. Les effets du PDO et de l'ENSO

sur l'ouest de l'Amérique du Nord sont très répandus et ont fait l'objet de nombreux articles (p. ex., Fleming *et al.*, 2006; Stahl *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2006).

Une bonne compréhension de ces moteurs de la variabilité du climat en Colombie-Britannique s'impose dans le cas d'un grand nombre de types de planification. Le plus important est peut-être le fait que les moyennes climatiques à court terme (30 ans) ne permettent pas de se rendre compte de l'ampleur de la variabilité induite par le PDO. Deuxièmement, l'ampleur de l'influence de l'ENSO fait que les prévisions climatologiques saisonnières peuvent servir aux fins de planification opérationnelle d'une année à l'autre (American Meteorological Society, 2001). On dispose présentement pour quelques régions et certaines saisons de telles prévisions basées sur des relations statistiques avec les régimes de variabilité du climat[6]. Ces prévisions peuvent contribuer aux évaluations du risque en matière d'incendies de forêt, de sécheresses, d'approvisionnement et de besoins en eau et en énergie, d'enlèvement de la neige, d'inondations et de conditions hydrologiques. Elles constituent en outre une amélioration importante par rapport à l'utilisation des seules informations historiques. On estime que l'utilisation des prévisions saisonnières dans la planification de la gestion des réservoirs hydroélectriques sur le Columbia pourrait faire augmenter les revenus annuels d'une moyenne de 153 millions de dollars (Hamlet *et al.*, 2002).

Paléoenregistrements de la variabilité et du changement du climat

Des archives naturelles comme les sédiments des lacs et des océans, les anneaux de croissance des arbres, les glaciers et le relief du paysage donnent des indications sur la variabilité du climat et l'histoire environnementale de la Colombie-Britannique avant le début des mesures prises à l'aide d'instruments. Des recherches paléoclimatologiques intensives ont été menées en Colombie-Britannique. Selon des revues récentes, après une période de climat sec et froid vers la fin de la dernière glaciation, il y a environ 12 500 ans, le climat de la Colombie-Britannique s'est réchauffé rapidement, de 5 °C en seulement un siècle ou deux (Hebda et Whitlock, 1997; Walker et Pellatt, 2003). Par la suite, trois grandes périodes climatiques se sont succédé : 1) un climat chaud et sec datant d'il y a environ 10 000 à 7 400 ans, 2) un climat chaud et humide il y a 7 400 à 4 400 ans, 3) un climat plus froid, semblable au climat contemporain, il y a environ 4 400 ans (*voir* la figure 4).

À cette histoire du climat à long terme vient se superposer un régime complexe de variabilité du climat qui comprend : 1) des changements d'ordre climatique abrupts (Gedalof et Smith, 2001; Chang *et al.*, 2003; Chang et Patterson, 2005; Zhang et Hebda, 2005), 2) des périodes de sécheresse intense et persistante (Gedalof *et al.*, 2004; Watson et Luckman, 2004, 2005), 3) des rapports fluctuants entre l'ENSO, le PDO et le climat de la Colombie-Britannique (Gedalof *et al.*, 2002, 2004; Watson et Luckman, 2005); et 4) des périodes multiples d'avancée et de recul des glaciers de montagne (Ryder et Thomson, 1986; Luckman, 2000; Larocque et Smith, 2003, 2004; Koch *et al.*, 2004; Lewis et Smith, 2004). L'étude des glaciers révèle notamment que le taux de réchauffement actuel est sans précédent depuis 8 000 ans (Menounos *et al.*, 2004). Mis ensemble, ces enregistrements

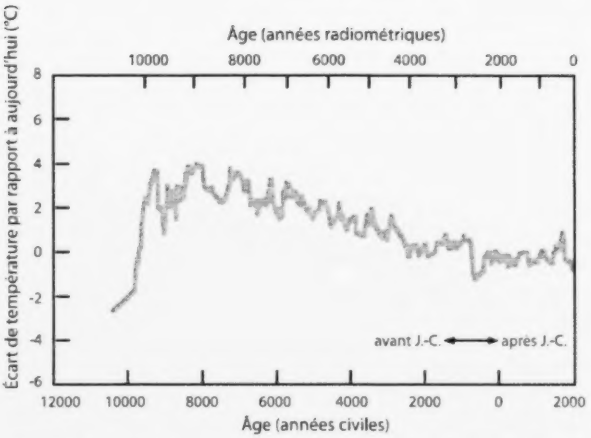


FIGURE 4 : Enregistrements déduits à partir de la température dans le sud de la Colombie-Britannique (*tiré de* Rosenberg *et al.*, 2004).

révèlent la nature dynamique du climat de la Colombie-Britannique et la forte probabilité que l'on s'attende à des « surprises » climatiques dans l'avenir.

En ce qui concerne l'évaluation du changement climatique à venir, trois grandes leçons se dégagent de ces paléoenregistrements :

- Des changements climatiques soudains, semblables au changement de 1976, se sont manifestés souvent par le passé, tout comme des changements soudains de la circulation océanique.
- L'influence des régimes à grande échelle de la variabilité du climat (p. ex., ENSO et PDO) en Colombie-Britannique ne semble pas avoir été constante au cours des derniers siècles. En conséquence, les données recueillies à l'aide d'instruments ne reflètent probablement pas la pleine mesure de la variabilité du système climatique, qui peut répondre de façon imprévue à des changements de forçages.
- Les sécheresses intenses et durables ont été plus fréquentes au cours des derniers siècles que dans les dernières décennies. Par conséquent, on peut s'attendre à ce qu'il s'en produise d'autres dans les années à venir, qu'il y ait changement climatique ou non.

2.2 TEMPÉRATURE ET PRÉCIPITATIONS

Tendances passées

Bien que l'on dispose de quelques enregistrements climatologiques à long terme obtenus à l'aide d'instruments pour la Colombie-Britannique, la plupart des stations n'ont pas été mises en service avant 1950, ce qui représente un défi de taille si l'on veut dégager de ces données des tendances à long terme. La densité du réseau actuel de stations météorologiques (*voir* la figure 1) n'est d'ailleurs pas assez importante pour permettre de décrire avec précision le

[6] Les prédictions météorologiques saisonnières sont offertes par divers organismes et accessibles sur Internet. Pour une liste plus complète, *voir* <http://www.pacificclimate.org/impacts/index.php?id=6>, [consultation : 18 mai 2007].

climat très variable de la Colombie-Britannique (Miles and Associates, 2003). Toutefois, quelle que soit la longueur de l'enregistrement, toutes les tendances révèlent que le climat de la Colombie-Britannique s'est réchauffé de façon importante au cours des dernières décennies (Zhang *et al.*, 2000; BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002; Whitfield *et al.*, 2002a; BC Ministry of Environment, 2006). Des enregistrements de plus longue durée semblent indiquer que les changements de la température et des précipitations dans le sud de la Colombie-Britannique et dans une grande partie de la région du nord-ouest au cours du XX^{e} siècle ont été supérieurs aux moyennes planétaires (Zhang *et al.*, 2000; Mote, 2003a, c). Dans la plus grande partie de la province, on a remarqué le réchauffement tant de la température moyenne annuelle (*voir* la figure 5) que de toutes les saisons en général (*voir* le tableau 1), bien qu'on constate de grands écarts régionaux et saisonniers dans les tendances (Whitfield *et al.*, 2002a). Les tendances des précipitations annuelles et saisonnières varient également selon les régions (*voir* la figure 6 et le tableau 2).

TABLEAU 1 : Tendances passées de la température dans le nord, dans le sud et sur la côte de la Colombie-Britannique.

Région	Extrêmes	Saisonnière	Annuelle
C.-B.	Augmentation des chaleurs extrêmes[1]; diminution du nombre de journées et de nuits de froid extrême, diminution du nombre de journées de gel et augmentation du nombre de journées et de nuits de chaleur extrême[2]; Allongement de la période sans gel[3].	Températures quotidiennes minimales et maximales plus élevées en toutes saisons; plus grand réchauffement au printemps et en hiver[3].	L'isotherme 0 °C se déplace vers le nord[4].
Sud de la C.-B.	L'intérieur se réchauffe plus que la côte[3].	Réchauffement au printemps, à l'automne et en hiver, mais pas en été[5,6].	
Nord de la C.-B.		Hivers plus doux, automnes plus frais[7].	Élévation de la température moyenne annuelle[5].
Côte de la C.-B.	La côte se réchauffe moins que l'intérieur[3].	Réchauffement au printemps et à l'automne[8]; réchauffement de la région du bassin de Georgia-détroit de Puget en toutes saisons, en particulier au cours des 30 dernières années[9].	

[1] Bonsal *et al.* (2001)
[2] Vincent et Mekis (2006)
[3] Pour la période de 1950 à 2003 (B. Taylor, Environnement Canada, communication personnelle, 2007)
[4] Bonsal et Prowse (2003)
[5] Zhang *et al.* (2000)
[6] Whitfield *et al.* (2002a)
[7] Whitfield *et al.* (2003)
[8] Whitfield et Taylor (1998)
[9] Mote (2003a)

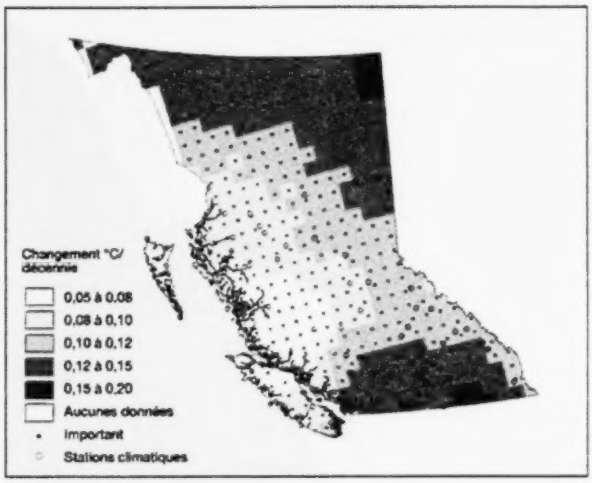


FIGURE 5 : Tendances de la température moyenne annuelle (en °C par décennie) pour la Colombie-Britannique, de 1900 à 2004. Le recours aux moyennes annuelles peut dissimuler des tendances saisonnières qui sont plus importantes que la moyenne annuelle ou, même, d'une valeur à signe opposé. Les tendances à long terme devraient être prises en considération en fonction de la variabilité du climat (*voir* la section 2.1).

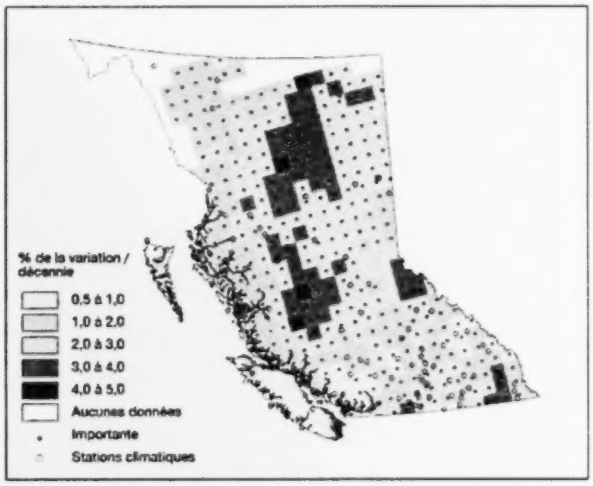


FIGURE 6 : Tendances des précipitations totales annuelles (en pourcentage de la variation d'une décennie à l'autre) pour la Colombie-Britannique, de 1900 à 2004, établies pour la période s'étendant de 1961 à 1990 (les tendances illustrées sont fonction de la normale pour un endroit donné). *Voir* la figure 2 pour la moyenne de 1961 à 1990. Le recours aux moyennes annuelles peut dissimuler des tendances saisonnières qui sont plus importantes que la moyenne annuelle ou, même, d'une valeur à signe opposé. Les tendances à long terme devraient être prises en considération en fonction de la variabilité du climat (*voir* la section 2.1).

TABLEAU 2 : Tendances passées des précipitations dans le nord, dans le sud et sur la côte de la Colombie-Britannique.

Région	Extrêmes	Neige / Pluie	Précipitations annuelles totales	Précipitations saisonnières annuelles
C.-B.	Augmentation du nombre de jours avec précipitations, diminution du nombre de jours secs consécutifs, diminution de la moyenne des précipitations quotidiennes. Aucun changement constant dans les extrêmes[1].	Diminution du rapport de la neige aux précipitations totales (plus de pluie, moins de neige durant la saison froide)[2].	Légèrement plus humide[2, 3].	
Sud de la C.-B.	Augmentation de l'humidité des périodes de l'hiver.	Diminution des chutes de neige annuelles au cours des 50 dernières années 1; augmentation du rapport de la pluie à la neige (plus de pluie, moins de neige) dans l'Okanagan 4; diminution de l'accumulation de neige annuelle au printemps et à faible altitude[5, 6, 7].	Plus humide au XX[e] siècle, l'augmentation ayant surtout eu lieu avant 1945[8].	Plus humide au printemps, été et à l'automne[3]; plus sec l'hiver, plus humide l'été dans l'Okanagan[4]; plus sec en hiver dans l'intérieur[2].
Nord de la C.-B.		Augmentation des chutes de neige depuis les années 1950[1].		Plus humide en toutes saisons[3].
Côte de la C.-B.		Moins de neige en général, plus de 40 p.100 à certains sites[5]; plus grande perte de neige sur la côte sud; plus d'endroits sans neige le 1[er] avril.		Plus humide en hiver (plus de pluie)[9], sauf dans le bassin de Georgia (aucune tendance de novembre à mars).

[1] Vincent et Mekis (2006)
[2] Pour la période de 1950 à 2003 (B. Taylor, Environnement Canada, communication personnelle, 2007)
[3] Zhang *et al.* (2000)
[4] Whitfield et Cannon (sous presse)
[5] Mote (2003a)
[6] Mote (2003b)
[7] Mote *et al.* (2005)
[8] Mote (2003c)
[9] Whitfield et Taylor (1998)

Projections

Des modèles de circulation générale (MCG) servent à prédire les climats futurs au moyen de scénarios plausibles des émissions de gaz à effet de serre et de modèles physiques du climat qui incluent des composantes représentant l'atmosphère, les océans, les glaciers et la surface terrestre (*voir* également le chapitre 2). Le recours à un grand nombre de projections et de modèles permet de cerner les incertitudes et de produire une gamme de futurs possibles.

Dans le cas de la Colombie-Britannique, on a défini, aux fins de la présente évaluation, trois grandes régions de scénarios (nord, sud et côte) basées sur de grandes mailles (environ 100 km^2) de MCG. Les scénarios pour les années 2020, 2050 et 2080 sont affichés sous la forme de changements par rapport aux moyennes climatologiques pour la période de 1961 à 1990 en ce qui concerne la température (*voir* la figure 7a) et les précipitations (*voir* la figure 7b). Les scénarios de précipitations par saison[7] pour la Colombie-Britannique semblent indiquer que les conditions seront plus humides en hiver et au printemps sur presque toute la province, mais plus sèches en été dans le sud et sur la côte.

Il est possible d'obtenir des scénarios de résolution spatiale à plus grande échelle au moyen de modèles climatiques régionaux (MCR). Par contre, les coûts de calcul limitent généralement les MCR à un plus petit nombre de scénarios que l'on en a présentés ci-dessus. Les études par réduction d'échelle, comme le programme ClimateBC (University of British Columbia, n.d.) qui fait appel à des données historiques et d'élévation à haute résolution pour produire des prévisions statistiques, offrent également une meilleure résolution spatiale (*voir* la section 3.6 pour l'application aux adaptations adoptées dans les parcs; Hamann et Wang, 2005).

2.3 PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES EXTRÊMES ET PHÉNOMÈNES LIÉS AU CLIMAT

Plus que tout autre risque climatique, ce sont les phénomènes météorologiques extrêmes et autres phénomènes qui les accompagnent qui touchent plus directement les habitants de la Colombie-Britannique. Les tempêtes de vent, les incendies de forêt, les ondes de tempête, les glissements de terrain, les tempêtes de neige, la grêle et les inondations ont tous d'importantes répercussions sur les collectivités, les infrastructures et l'industrie (Hamlet, 2003; Sandford, 2006). La section 4 traite des répercussions des divers phénomènes extrêmes d'ordre climatique ainsi que des étapes pouvant mener à l'adaptation à ces phénomènes (*voir* également les sections 3.7 et 3.8). On signale dans le monde entier une augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes, et les modèles climatiques prévoient que leur fréquence continuera d'augmenter (Easterling *et al.*, 2000; Milly *et al.*, 2002; Palmer et Räisänen, 2002; Schumacher et Johnson, 2005). Dans l'ouest de l'Amérique du Nord, les incendies de forêt sont devenus plus fréquents et plus violents avec le récent réchauffement du climat

[7] *Voir* <http:// www.pacificclimate.org>, [consultation : 18 mai 2007].

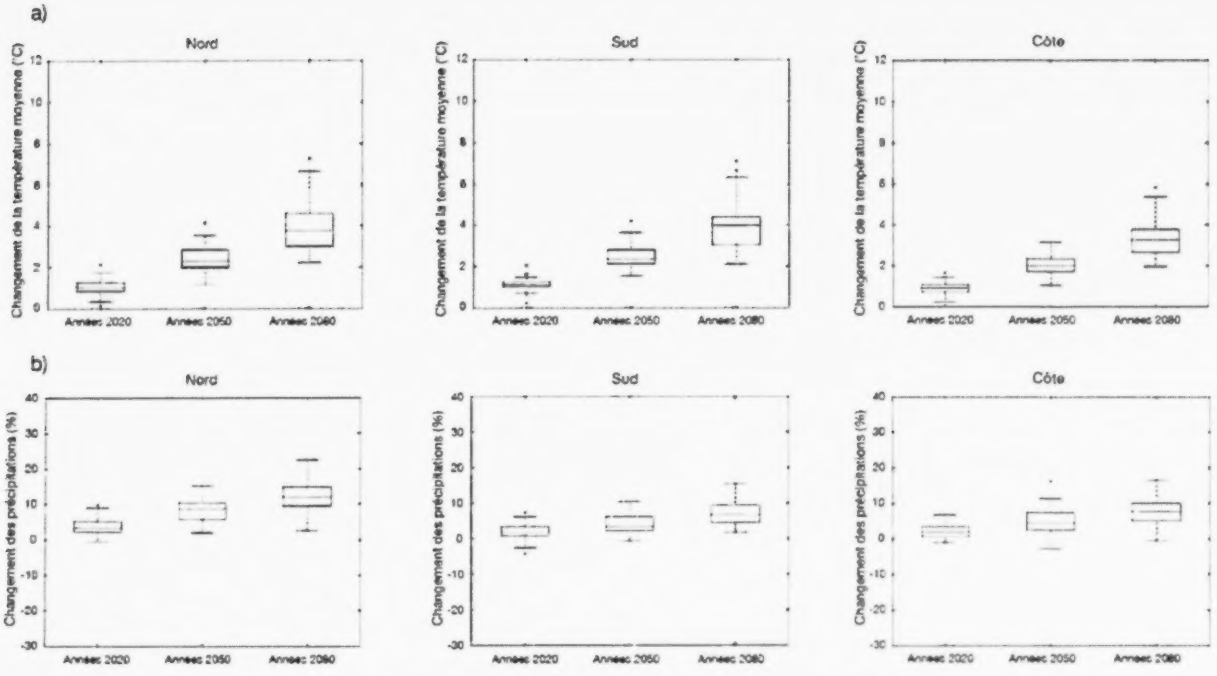


FIGURE 7 : Changements prévus pour les années 2020, 2050 et 2080, par rapport au climat de 1961 à 1990, pour a) la température (°C) et b) les précipitations (%). *Voir* l'annexe 1 au chapitre 2 pour la description des tracés en rectangle et en moustaches.

(Gedalof *et al.*, 2005; Westerling *et al.*, 2006) et on prévoit que cette tendance se maintiendra dans l'ouest du Canada (Gillett *et al.*, 2004; Flannigan *et al.*, 2005).

Le programme provincial d'intervention en cas d'urgence (BC-Provincial Emergency Program, ou BC-PEP) de la Colombie-Britannique tient un registre des phénomènes météorologiques extrêmes qui causent des pertes économiques et personnelles consécutives à des dommages aux infrastructures. De 2003 à 2005, la fréquence, la gravité et les coûts des phénomènes extrêmes qui figurent au registre du BC-PEP ont considérablement augmenté en raison des feux de forêt, des ondes de tempête, des sécheresses et des pluies abondantes qui ont entraîné des inondations et des glissements de terrain. Les hivers plus chauds donnent lieu à des embâcles, à des pluies verglaçantes et à des épisodes de pluie sur neige qui entraînent également des pertes économiques. Ces phénomènes coûtent aux contribuables de la Colombie-Britannique 86 millions de dollars par année en moyenne sous la forme d'aide financière en cas de catastrophes, comparativement à une moyenne de 10 millions de dollars par année de 1999 à 2002 (Whyte, 2006). Cette augmentation concorde avec l'accroissement des risques associés aux phénomènes d'ordre météorologique selon la Base de données canadienne sur les désastres (McBean et Henstra, 2003; Sécurité publique Canada, 2006).

2.4 HYDROLOGIE

Les changements hydrologiques régionaux sont liés aux tendances de la température et des précipitations (*voir* les tableaux 2 et 3 et les sections 3.1 et 4.3). D'importantes élévations de la température ont entraîné une réduction de l'accumulation annuelle de neige même dans les bassins alimentés surtout par la fonte des neiges où les

TABLEAU 3 : Tendances régionales de l'écoulement des cours d'eau en Colombie-Britannique.

Lieu	Tendance des cours d'eau
Tendances provinciales	• Décalages des débits et des transitions saisonnières[1] • Avancement du ruissellement du printemps[2,3] • Élévation de la température des rivières[4]
Côtes	• Augmentation des débits en hiver[5,6] • Diminution des débits à la fin de l'été[5]
Nord	• Augmentation du débit toute l'année, en particulier l'hiver[7]
Sud	• Allongement de la période de débits faibles à la fin de l'été et au début de l'automne[1] • Allongement des périodes de débit faible[1] • Augmentation des débits au début de l'hiver (intérieur sud)[1]

[1] Leith et Whitfield (1998)
[2] Whitfield et Taylor (1998)
[3] Whitfield *et al.*(2002b)
[4] Whitfield et Cannon (2000)
[5] Zhang *et al.* (2000)
[6] BC Ministry of Water, Land and Air Protection (2002)
[7] Whitfield *et al.* (2003)

ENCADRÉ 1

Glaciers de la Colombie-Britannique : une ressource naturelle qui s'amenuise

Les glaciers sont une source importante d'eau douce dans l'Ouest canadien, puisque le ruissellement glaciaire alimente les cours d'eau, atténue les variations des températures de nombreuses rivières de l'Ouest canadien (Fleming, 2005; Fleming et Clark, 2005; Moore, 2006) et vient s'ajouter au ruissellement de surface durant l'été lorsque les écosystèmes aquatiques sont très vulnérables et que l'utilisation de l'eau est à son point maximum. Par exemple, dans le bassin du Columbia, 10 p.100 à 20 p.100 du volume annuel et 50 p.100 du volume d'été proviennent des glaciers (Brugman *et al.*, 1996).

En 2005, les glaciers recouvraient 3 p.100 de la Colombie-Britannique (30 000 km²) et reculaient à une vitesse sans précédent depuis 8 000 ans (Lowell, 2000). La plupart des glaciers alpins de la Colombie-Britannique fondent rapidement et un grand nombre pourrait même disparaître d'ici 100 ans. Les données sur la vitesse et l'ampleur du recul des glaciers sont importantes aux fins de gestion et de planification des ressources hydriques nécessaires à la consommation humaine, à l'irrigation, à l'industrie et à la production d'hydroélectricité ainsi qu'aux besoins des écosystèmes fluviaux. On s'attend à ce que le changement climatique et l'augmentation de la demande en eau aggravent les déséquilibres actuels entre la demande et l'approvisionnement (Environnement Canada, 2004). La baisse des débits estivaux due à une réduction de la fonte des glaciers, combinée à l'utilisation croissante de l'eau pour l'irrigation et la production d'énergie à des fins de climatisation en été, représente l'un des défis les plus importants au chapitre des ressources hydriques en Colombie-Britannique, une province qui semble pourtant riche en eau.

précipitations nettes ont augmenté (Mote, 2003a, b; Stewart *et al.*, 2004). La réduction de l'accumulation annuelle de neige a une incidence sur le volume et le moment où les débits fluviaux atteindront leurs maximums; la couverture de glace d'un grand nombre de lacs et de rivières persiste moins longtemps (BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002) et fond plus tôt au printemps (Bonsal *et al.*, 2001). La glace d'un grand nombre de rivières de la Colombie-Britannique fond maintenant plus tôt (Zhang *et al.*, 2001a), une tendance qui va se maintenir selon les projections du climat (Barnett *et al.*, 2005). Un autre phénomène qui a des répercussions importantes sur l'hydrologie de la région est la fonte rapide des glaciers alpins dont un bon nombre pourrait disparaître dans les 100 prochaines années (*voir* l'encadré 1).

L'analyse pour la totalité de la région nord-ouest révèle que les tendances passées des débits fluviaux se maintiendront dans les années à venir et que la glace de nombreuses rivières fondra 30 à 40 jours plus tôt d'ici à 2100 (Stewart *et al.*, 2004). La hausse des températures et des précipitations fera réduire l'accumulation annuelle de neige et augmenter le ruissellement en hiver dans la plus grande partie de la Colombie-Britannique (Hamlet et Lettenmaier, 1999; Mote et Hamlet, 2001). La réduction de l'accumulation annuelle de neige et l'avancement de la fonte, combinés à une augmentation de l'évapotranspiration, feront en sorte que les cours d'eau atteindront leur débit de pointe plus tôt au printemps et que l'écoulement baissera d'avril à septembre. Par exemple, d'ici à 2045, dans le bassin du Columbia, le ruissellement d'avril à septembre pourrait diminuer de 10 p.100 à 25 p.100 selon une simulation réalisée à l'aide d'un cas de référence hydrologique (Hamlet et Lettenmaier, 1999). Ces répercussions sur l'hydrologie toucheront plusieurs secteurs économiques clés de la Colombie-Britannique, dont la production d'hydroélectricité (*voir* la section 3.7), les pêches (*voir* la section 3.2) et l'agriculture (*voir* la section 3.4).

Le changement climatique a également une incidence sur les réseaux d'eaux souterraines, en particulier dans les aquifères peu profonds (Rivera *et al.*, 2004). Même de petits changements de la température et du niveau de précipitations exercent un effet sur le taux de recharge des eaux souterraines et sur la hauteur de la nappe d'eau (p. ex., Changnon *et al.*, 1988; Zektser et Loaiciga, 1993). Une réduction de l'écoulement fluvial aura un effet fâcheux à la fois sur la recharge et sur la décharge des eaux souterraines (Scibek et Allen, 2006). Comme la décharge des eaux souterraines a pour effet de modérer les températures des cours d'eau, une réduction en été de cette décharge provoquerait une élévation de la température des eaux de surface encore plus importante que si elles n'étaient réchauffées que par l'air ambiant. Dans les régions côtières, le changement climatique aura également des répercussions sur la qualité des eaux souterraines en raison de l'infiltration d'eau salée consécutive à l'élévation du niveau de la mer (p. ex., Lambrakis et Kallergis, 2001; Yin, 2001).

2.5 NIVEAU DE LA MER

À l'échelle de la planète, l'élévation du niveau eustatique moyen de la mer a été de 10 cm à 20 cm au cours du XX^{e} siècle, et on s'attend à ce qu'il monte encore de 18 cm à 59 cm d'ici à 2100 en raison, surtout, de la fonte des glaciers et des inlandsis, et aussi de la dilatation thermique résultant du réchauffement de l'eau de mer (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007). Toutefois, la tendance de l'élévation du niveau relatif de la mer en Colombie-Britannique diffère de cette tendance planétaire à cause des déplacements verticaux des terres. Au cours du XX^{e} siècle, le niveau de la mer a monté de 4 cm à Vancouver, de 8 cm à Victoria et de 12 cm à Prince Rupert, et baissé de 13 cm à Tofino (BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002). L'élévation du niveau de la mer est un problème important en Colombie-Britannique, car elle a une incidence sur les infrastructures côtières comme les routes, les réseaux d'égouts et les terminaux maritimes, de même que sur l'aéroport international de Vancouver. À titre d'exemple, une élévation arbitraire de 1 m du niveau de la mer aurait pour résultat d'inonder plus de 4 600 ha de terres agricoles et plus de 1 500 ha de zones urbaines à caractère industriel et résidentiel en Colombie-Britannique (Yin, 2001). Environ 220 000 personnes habitent dans des régions situées à proximité ou sous le niveau de la mer à Richmond et à Delta dans le District régional du Grand Vancouver; elles sont protégées par un réseau de digues long de 127 km et conçu de façon à faire face à l'élévation du niveau de la mer (B. Kangasneimi, BC Ministry of Environment, communication personnelle, 2007). Bien des collectivités côtières éloignées et des sites patrimoniaux des Premières nations sont vulnérables à une érosion accrue et à des inondations attribuables aux ondes de tempête, elles-mêmes liées à l'élévation du niveau marin. Enfin, la hausse du niveau de la mer peut entraîner l'infiltration d'eau salée dans les aquifères d'eau douce et ainsi avoir une incidence sur la qualité et la quantité des approvisionnements en eau potable et d'irrigation (Liteanu, 2003; Allen, 2004).

Sur la côte de la Colombie-Britannique, la hauteur atteinte par les épisodes de hauts niveaux d'eau extrêmes causant des dommages augmente plus rapidement que l'élévation du niveau de la mer (p. ex., 22 cm à 34 cm par siècle à Prince Rupert, 16 cm par siècle à

Vancouver; BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002; Abeysirigunawardena et Walker, sous presse). À Tofino, où le niveau relatif de la mer a baissé, les phénomènes de hauts niveaux extrêmes n'ont guère varié. Les niveaux marins extrêmes, les ondes de tempête et l'érosion côtière accrue sont fortement influencés par l'ENSO et le PDO (Storlazzi *et al.*, 2000; Dingler et Reiss, 2001; Allan et Komar, 2002; Abeysirigunawardena et Walker, sous presse). Les niveaux d'eau extrêmes ont beaucoup monté depuis que le PDO est entré dans une phase positive en 1976 (Abeysirigunawardena et Walker, sous presse). Lors des épisodes El Niño de 1982-1983 et de 1997-1998, le niveau de la mer a monté jusqu'à 100 cm au-dessus de la moyenne, de la Californie à l'Alaska (Subbotina *et al.*, 2001), et des vagues plus violentes ont entraîné une érosion côtière et des dommages aux infrastructures importants (Storlazzi *et al.*, 2000; Allan et Komar, 2002). Sur la côte nord de la Colombie-Britannique, le niveau de la mer a monté de 10 cm à 40 cm au-dessus des hauteurs saisonnières en 1997-1998, occasionnant une importante érosion par endroits (Crawford *et al.*, 1999; Barrie et Conway, 2002).

2.6 ÉCOSYSTÈMES

Le changement climatique a également un effet sur la répartition des écosystèmes et sur la biodiversité (*voir* les sections 3.2, 3.3 et 3.6). Plusieurs thèmes ressortent d'une vaste gamme d'études :

- On a assisté par le passé à de brusques modifications de l'abondance et de la répartition du saumon du Pacifique, de la sardine, de l'anchois, du dendroctone du pin ponderosa et du cèdre rouge de l'Ouest en réaction à des changements d'ordre climatique relativement mineurs (Robinson et Ware, 1994; Hebda, 1999; Ware et Thomson, 2000; Brown et Hebda, 2002, 2003; Wright *et al.*, 2005). De telles modifications pourraient avoir d'importantes répercussions sociales et économiques (*voir* les sections 3.2 et 3.3).
- On s'attend à de grands changements des aires de répartition des espèces (Royal BC Museum, 2005a), qui amèneraient celles-ci à l'extérieur de leurs aires de répartition actuelles (Shafer *et al.*, 2001). Chaque espèce réagira à sa façon, et les communautés végétales résultantes pourraient ne plus ressembler aux communautés actuelles (Brubaker, 1988; Gavin *et al.*, 2001).
- Bon nombre d'habitats spécialisés de la Colombie-Britannique (p. ex., écosystèmes alpins, déserts, steppe froide) diminueront en étendue et deviendront plus fragmentés (Shafer *et al.*, 2001).
- La capacité du réseau de zones protégées de la Colombie-Britannique de maintenir la biodiversité sera mise à l'épreuve, car des barrières naturelles (eau, montagne) et anthropiques (fragmentation du paysage) feront obstacle à la migration de nombreuses espèces (*voir* la section 3.6; Overpeck *et al.*, 1991; Dyer, 1995; Lemieux et Scott, 2005).
- La fréquence et la violence des feux de friche augmenteront dans les décennies à venir (Flannigan *et al.*, 2001; Gillett *et al.*, 2004; Gedalof *et al.*, 2005; Westerling *et al.*, 2006), situation susceptible de représenter une menace pour certains écosystèmes, tandis que d'autres (p. ex., le chêne de Garry et autres forêts de pin ponderosa), qui se régénèrent habituellement après un incendie, pourraient étendre leur aire de répartition (Agee, 1993; McKenzie *et al.*, 2004).
- On s'attend à ce que les grandes infestations de ravageurs, comme le dendroctone du pin ponderosa et le dendroctone de l'épinette, se poursuivent et gagnent du terrain à mesure que la planète se réchauffe. Cet état de choses menace de plus en plus des espèces croissant en altitude, comme le pin à blanche écorce et le pin gris dans tout l'Ouest canadien (*voir* la section 4.2; Logan et Powell, 2001).

2.7 RÉSUMÉ

Les principales conclusions sur le changement climatique actuel et futur en Colombie-Britannique sont les suivantes :

- Les changements majeurs de la variabilité et des extrêmes du climat sont inhérents au système et devraient se poursuivre. Le changement climatique survenu au cours du XX^{e} siècle en Colombie-Britannique a dépassé la plupart des tendances planétaires, tout en faisant preuve d'une grande variabilité régionale.
- Des régimes de variabilité à grande échelle, dont l'ENSO et le PDO, ont une forte influence sur le climat de la Colombie-Britannique. Les phénomènes météorologiques extrêmes qui leur sont associés sont à la hausse, de même que les coûts des dommages qu'ils entraînent.
- La hausse des températures a provoqué une diminution de l'accumulation annuelle de neige à bien des endroits, en particulier en basse altitude.
- Les glaciers de la Colombie-Britannique reculent à une vitesse sans précédent depuis 8 000 ans, ce qui aura une incidence sur les besoins actuels et futurs en eau et en énergie, sur le secteur agricole et sur les écosystèmes aquatiques.
- Des reconstitutions de la végétation révèlent que chaque espèce végétale réagit à sa façon au changement climatique. Les changements écologiques à venir seront complexes et se manifesteront peut-être rapidement.
- Les températures de la Colombie-Britannique pourraient s'élever de 2 °C à 7 °C d'ici à 2080. Parmi les répercussions biophysiques figureront une élévation du niveau de la mer, un changement de la fréquence et de l'ampleur des précipitations et des phénomènes extrêmes, de grands changements au niveau de l'hydrologie et une restructuration des écosystèmes.
- Des prévisions climatiques saisonnières qui tiennent compte des effets de l'ENSO et du PDO sont utiles aux fins de planification opérationnelle d'année en année, mais elles sont présentement sous-utilisées.
- Les enregistrements obtenus à l'aide d'instruments qui servent à calculer les normales et tendances climatiques, et les probabilités de manifestation de phénomènes extrêmes (inondation, sécheresse, tempête) couvrent souvent une période trop courte, présument que les conditions sont immuables et, par conséquent, ne conviennent pas vraiment à bon nombre d'objectifs de planification.

3 RÉPERCUSSIONS SUR LES SECTEURS ET CAPACITÉ D'ADAPTATION

Les répercussions des changements biophysiques sur la société de la Colombie-Britannique dépendent de facteurs économiques et sociaux à l'échelle autant locale que régionale. La vulnérabilité des personnes et des collectivités aux risques du changement climatique est fonction de leur exposition physique aux dangers naturels, de leur interdépendance avec les milieux naturels (p. ex., ressources naturelles) et de leur capacité d'adaptation (*voir* le chapitre 2; Dolan et Walker, 2007). Bien que la tendance vers une économie plus diversifiée améliore la capacité d'adaptation de l'économie de l'ensemble de la Colombie-Britannique au changement climatique et autres facteurs de stress, il est peu probable que cette diversification soit également répartie entre les régions et les secteurs.

Le changement climatique aura une incidence sur le développement économique de la Colombie-Britannique par ses répercussions sur les ressources naturelles de la province (p. ex., forêts, eau et milieu sauvage), sur la répartition géographique des activités d'utilisation optimale des terres (p. ex., cultures à fort rapport économique, cultures fourragères, foresterie commerciale) et les coûts sociaux et économiques de l'augmentation prévue de phénomènes météorologiques extrêmes.

Les sections suivantes traitent des répercussions du changement climatique sur les divers secteurs économiques de la Colombie-Britannique et, le cas échéant, des mesures d'adaptation actuelles et possibles pour les années à venir.

3.1 GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Lorsqu'il s'agit des ressources en eau, leur gestion et leur utilisation sont très sensibles à la variabilité et au changement du climat. Les gestionnaires des eaux devront faire face au défi de répondre à toute une série d'attentes souvent concurrentes (énergie, irrigation, navigation, lutte contre les inondations, normes de débit minimal, etc.) dans des conditions d'approvisionnement et de demande variables.

Eaux de surface

La Colombie-Britannique dispose d'immenses ressources en eau et renferme approximativement le tiers des eaux de surface du Canada. L'incidence du changement climatique sur la gestion des ressources en eaux de surface a fait l'objet d'une considération toute particulière dans le bassin du Columbia (*voir* Hamlet et Lettenmaier, 1999; Mote *et al.*, 1999; Miles *et al.*, 2000), y compris en ce qui a trait aux questions transfrontalières (Cohen *et al.*, 2000; Hamlet, 2003; Payne *et al.*, 2004). Tel qu'indiqué plus haut (*voir* la section 2.4), les changements hydrologiques attribuables au climat, dont la diminution de l'accumulation annuelle de neige et l'avancement des périodes de pointe de la fonte des neiges, ont des répercussions importantes sur l'approvisionnement en eau et les pêches de la région. L'augmentation du débit durant les mois d'hiver et l'avancement de la saison d'inondation provoqueront une diminution du débit en été, période où les besoins d'irrigation sont à leur maximum. La diminution du débit en été aura également des répercussions sur la production d'hydroélectricité et sur l'habitat du saumon. Selon à peu près tous les scénarios de changement climatique, il sera difficile d'atteindre les objectifs actuels de gestion de la production d'hydroélectricité et les débits minimaux requis par le secteur des pêches (Payne *et al.*, 2004). Dans le bassin du Fraser, l'allongement de la période de basses eaux risque de faire monter la température estivale des cours d'eau de près de 2 °C, ce qui aurait de graves conséquences sur les pêches (Morrison *et al.*, 2002; Loukas *et al.*, 2004). La section 4.3 traite des scénarios hydrologiques pour la vallée de l'Okanagan et des répercussions sur le secteur des pêches.

Malgré la disponibilité des résultats de quelques recherches ayant trait aux répercussions du changement climatique sur l'hydrographie des bassins des rivières Liard et de la Paix, dans le nord-est de la Colombie-Britannique (*voir* Cohen, 1997), on n'a pas tenu compte de ce dernier dans les plans de gestion en place. Par exemple, bien que le plan d'utilisation des eaux de la rivière de la Paix comprenne une réduction des émissions de gaz à effet de serre à titre d'objectif de gestion, il n'envisage pas d'options de gestion ayant trait aux changements hydrologiques induits par le changement climatique (BC Hydro, 2004).

Eaux souterraines

Environ 600 000 personnes (22 p.100 de la population de la Colombie-Britannique) tirent leur eau potable des eaux souterraines (BC Ministry of Environment, Lands and Parks, 1993). Les secteurs agricoles et industriels, et donc l'irrigation, les pâtes et papiers, les établissements de pisciculture, les usines de transformation des aliments, les mines, les industries chimique et pétrochimique, les parcs et les aéroports sont des usagers importants des eaux souterraines de la province (Liebscher, 1987). À ce jour, plus de 600 aquifères ont été cartographiés et classifiés selon le système de classification des aquifères de la Colombie-Britannique[8].

Outre les répercussions directes du changement climatique sur les nappes d'eaux souterraines et la qualité de l'eau (*voir* la section 2.4), on s'attend à une augmentation de la demande dans les régions de la province où les réseaux d'eau de surface ne suffisent pas à répondre aux besoins en prélèvements et débits minimums. À certains endroits, il pourrait devenir nécessaire d'approfondir les puits pour avoir accès à des aquifères plus profonds qui soient moins sensibles au changement climatique (Rivera *et al.*, 2004).

[8] Le site web <http://www.env.gov.bc.ca/wsd/plan_protect_sustain/groundwater/aquifers/index.html>, [consultation : 30 avril 2007] fournit des renseignements au sujet des aquifères en Colombie-Britannique et offre un lien à la base de données sur la classification des aquifères (Aquifer Classification Database).

3.2 PÊCHES

Le secteur des pêches et de l'aquaculture, qui inclut la pêche sportive, la pêche commerciale, l'aquaculture et les usines de transformation des produits de la mer, emploie environ 20 000 personnes un peu partout en Colombie-Britannique (*voir* le tableau 4; BC Ministry of Agriculture and Lands, 2005a). En 2004, les produits de la mer de la Colombie-Britannique avaient une valeur en gros de 620 millions de dollars pour les produits bruts et de 1,1 milliard de dollars pour les produits transformés (BC Ministry of Agriculture and Lands, 2005a). La pêche sportive, étroitement liée au secteur du tourisme (*voir* la section 3.5), crée environ 8 900 emplois et contribue pour environ 233 millions de dollars par année au PIB provincial, ce qui en fait l'élément le plus important du secteur des pêches (BC Ministry of Agriculture and Lands, 2002). L'aquaculture compte en Colombie-Britannique 700 sites autorisés pour l'élevage de 30 espèces de poissons, de mollusques et crustacés et de plantes marines. Les ventes dans ce domaine ont rapidement progressé, passant de 3 millions de dollars en 1983 à plus de 212 millions de dollars en 2005 (BC Ministry of Agriculture and Lands, 2005a). Néanmoins, la contribution du secteur des pêches au PIB provincial a été inférieure à 1 p.100 en 2001 (BC Ministry of Labour and Citizens' Services, 2006).

Le secteur des pêches et des espèces comme le saumon du Pacifique sont également des éléments importants (in sensu Garibaldi et Turner, 2004) du tissu social, culturel, juridique et écologique de la Colombie-Britannique (Pearse, 1982; Glavin, 1996). La durabilité du secteur des pêches et l'état et les tendances du saumon sauvage en particulier sont considérés comme des éléments essentiels au maintien de l'intégrité de l'écosystème. Cependant, les garanties constitutionnelles de l'accès des peuples autochtones à cette ressource en vue de répondre à leurs besoins alimentaires, culturels et sociaux font du maintien et du rétablissement de la pêche traditionnelle dans toute la Colombie-Britannique des éléments clés lors des négociations de traités (Raunet, 1984; Harris, 2001). C'est pourquoi les impacts économiques sur le secteur des pêches auront des conséquences importantes sur les activités d'autres secteurs (p. ex., agriculture, forêt, mines, énergie et urbanisation).

Au cours du XX^e^ siècle, le secteur des pêches de la Colombie-Britannique a changé en réaction à de nombreux facteurs (*voir* l'encadré 2), dont la variabilité du climat. On a défini les rapports qui existent entre la variabilité du climat et de nombreuses variables physiques propres aux populations de poissons de la Colombie-Britannique aussi bien en milieu dulcicole (Northcote, 1992) que marin (King, 2005; Pêches et Océans Canada, 2006a). Ces rapports mettent en évidence le fait que le changement climatique provoquera des réactions très diverses chez les poissons et dans le secteur des pêches de la Colombie-Britannique.

La sensibilité au changement et à la variabilité du climat diffère beaucoup entre les espèces dont la durée de vie est courte, comme la crevette, le saumon, le hareng et la sardine, et celles qui vivent plus longtemps, comme le panope du Pacifique, la perche et le flétan (Pêches et Océans Canada, 2001). Les espèces à durée de vie courte réagissent rapidement au changement climatique, et des populations peuvent disparaître ou se rétablir sans avertissement, ainsi qu'on a pu le constater avec les sardines (Hargreaves *et al.*, 1994), le hareng (Schweigert, 1993) et le saumon (McKinnel *et al.*, 2001; Hyatt *et al.*, 2003; Riddell, 2004; Pêches et Océans Canada, 2006b, c). Le fait que les régimes de production des espèces à durée de vie plus longue qui sont attribuables au climat ou à la pêche changent lentement, quelquefois sur une période de dix ans ou plus, permet de mieux prévoir le rendement de la pêche, comme dans le cas du flétan (Clarke et Hare, 2002). Ces différences entre les espèces auront donc une incidence sur les décisions en matière d'adaptation.

TABLEAU 4 : Secteurs des pêches et de l'aquaculture en Colombie-Britannique (BC Ministry of Agriculture and Lands 2005a).

Secteur	Revenus du secteur (millions de dollars)	Contribution au produit intérieur brut de la C.-B. (millions de dollars)	Contribution à l'emploi en C.-B. (milliers d'emplois)
Pêches commerciales	358	170	5,4
Aquaculture	287	116	1,9
Transformation des produits de la mer	602	82	3,9
Pêche sportive	675	233	8,9
Total pour le secteur	**1 922**	**601**	**20,1**

ENCADRÉ 2

Tendances du secteur des pêches en Colombie-Britannique

Le flétan, le hareng, la sardine, le merlu et le saumon sont les principaux poissons pêchés en Colombie-Britannique depuis la fin des années 1800 (Pêches et Océans Canada, 2001). La pêche au saumon a dominé sur le plan socioéconomique pendant la plus grande partie du dernier siècle. Dans les années 1980, les prises ont été exceptionnelles, puis elles ont connu des minimums extrêmes durant les années 1990 (Beamish et Noakes, 2004) en raison des changements en matière de productivité marine (Hare et Mantua, 2000; Beamish *et al.*, 2003) et d'objectifs des organismes de gestion (p. ex., protéger la biodiversité; Hyatt et Riddell, 2000; Irvine *et al.*, 2005), et d'une baisse des prix du saumon sauvage imputable à la concurrence accrue de l'aquaculture (Noakes *et al.*, 2002). À l'heure actuelle, les prises d'espèces sauvages sont stables (surtout les poissons de fond et les invertébrés) ou en déclin (p. ex., saumon), alors que la production de l'aquaculture est à la hausse, contribuant pour 50 p.100 à la valeur économique du secteur (Pêches et Océans Canada, 2001). En dépit de l'évolution des conditions, le secteur des pêches a maintenu une valeur au débarquement moyenne de 550 millions de dollars (plage de 380 à 720 millions) depuis 1985 (BC Ministry of Agriculture and Lands, 2002).

La réaction du secteur des pêches au changement climatique variera beaucoup d'une région à l'autre (Ware et McFarlane, 1989; Ware et Thomson, 2005). Dans les écosystèmes dulcicoles, le changement climatique touche déjà la quantité (niveau des lacs, débit des cours d'eau) et la qualité (température, éléments nutritifs) des apports d'eau saisonniers et annuels autour du bassin de Georgia (Whitfield *et al.*, 2002b; Quilty *et al.*, 2004) et dans le bassin du Fraser (Morrison *et al.*, 2002), de même que dans l'intérieur sud de la Colombie-Britannique (*voir* les sections 2.4 et 3.1). Il entraîne ainsi des perturbations du cycle biologique et de la production des salmonidés résidents et migrateurs (Levy, 1992; MacDonald *et al.*, 2000; Hyatt *et al.*, 2003).

Le détroit de Georgia et la zone de remontée d'eau côtière à l'ouest de l'île de Vancouver alimentent certaines des pêches maritimes les plus riches de la Colombie-Britannique (Ware et McFarlane, 1989). Des études de périodes préhistoriques (Wright *et al.*, 2005) et historiques (Pêches et Océans Canada, 2006a) révèlent que la dominance des espèces dans ces régions varie beaucoup, le saumon, le hareng et le merlu résident étant les plus abondants lorsque les eaux sont froides, le merlu migrateur et des espèces « exotiques » comme le maquereau, le thon et même le calmar de Humboldt remontant du sud quand les eaux sont chaudes (Pêches et Océans Canada, 2006a). L'expérience démontre que, pour ce qui est des gains, de bonnes prises de merlu migrateur (Ware et McFarlane, 1995), de sardine (McFarlane et Beamish, 1998) et de thon dans un climat plus chaud ne compenseront pas immédiatement les pertes subies en raison de l'effondrement de la pêche du saumon (Hyatt *et al.*, 2003; Pêches et Océans Canada, 2006a), espèce à fort rapport économique (*voir* le tableau 5). En outre, les pêches d'eau froide établies disposent d'infrastructures développées (capacité de capture et de transformation, marchés et réseaux de gestion des pêches établis) qui font défaut au secteur des pêches d'espèces exotiques. Les collectivités qui dépendent du secteur des pêches connaîtront probablement une augmentation des bouleversements économiques et du stress social à mesure que le changement climatique se poursuivra, les pertes subies par les pêches traditionnelles dépassant les gains provenant des efforts consacrés à en développer de nouvelles ou à les remplacer par l'aquaculture. Cet état de choses inquiète en particulier les petites collectivités côtières qui dépendent énormément des pêches traditionnelles (Ommer, 2006, 2007).

On connaît moins bien l'incidence du climat sur les pêches du bassin de la Reine-Charlotte. Par le passé, le réchauffement de l'eau, la perturbation des régimes de production (p. ex., Ware et Thomson, 2005) et les espèces exotiques n'y ont pas causé le déclin visible du hareng et du saumon. En fait, on a même des raisons de croire que ces espèces auraient proliféré durant les périodes chaudes (Boldt *et al.*, 2005).

Une grande quantité de saumons de la Colombie-Britannique poursuivent leur croissance pendant un à quatre ans en haute mer dans le golfe d'Alaska, et un changement climatique dans cette région aura un effet sur la répartition du saumon (p. ex., déplacement vers la mer de Bering, Welch *et al.*, 1998). Des changements de la stratification thermique, de l'apport d'éléments nutritifs et de la production primaire (Behrenfeld *et al.*, 2006) ou même l'acidification de l'océan (Raven *et al.*, 2005) pourraient avoir une influence considérable sur la production de saumon et sur le secteur des pêches de toute la Colombie-Britannique. On ne connaît pas les conséquences ultimes de changements aussi complexes, mais on peut s'attendre à ce que les pêches du sud soient probablement exposées à un plus grand risque de pertes que celles du nord dans les années à venir.

TABLEAU 5 : Prises totales et âge maximal des poissons dont dépendent les principales pêches (valeur au débarquement de plus de 1 million de dollars) sur la côte ouest du Canada en 2002 (*extrait modifié tiré de* BC Ministry of Labour and Citizens' Services, 2002; King et McFarlane, 2003).

Groupe d'espèces	Âge maximal du poisson (ans)	Poids total (tonnes métriques)	Valeur[1] au débarquement (millions de dollars, 1985 à 2002)	Valeur[1] approximative en 2002 (millions de dollars)
Sébaste	58 à 205	15 236	10	
Morue charbonnière	113	3 947	25	21
Perche de mer	100	6 179	5	6
Flétan du Pacifique	55	6 096	30	43
Goberge	33	1 044	1	
Morue-lingue	25	1 984		
Morue du Pacifique	25	708	4	1
Merlu du Pacifique	23	22 347	12	12
Hareng du Pacifique	15	27 725	60	50
Sardine	13	800		
Thon albacore	10	233		
Saumon quinnat et coho	4–8	540	500	600
Saumon rouge	7	8 670	100	40
Saumon kéta	7	2 780	20	3
Saumon rose	3	7 160	20	5
Total			**787 millions de dollars**	**781 millions de dollars**

[1] Il est à noter que ces valeurs sont les valeurs au débarquement de toutes les espèces sauf les saumons quinnat et coho pour lesquels la pêche sportive dans les eaux marines et tidales rapporte beaucoup plus.

Adaptation

Au cours des 15 dernières années, trois enquêtes publiques (Pearse et Larkin, 1992; Fraser River Sockeye Public Review Board, 1995; Williams, 2005) se sont penchées sur les causes, les conséquences et les solutions du problème causé par le déclin rapide de la production et de la récolte des salmonidés de types coho du sud, arc-en-ciel et rouge du Fraser (Pêches et Océans Canada, 2006b). À elles seules, les pertes économiques de la pêche commerciale au saumon rouge ont été estimées à 72 millions de dollars en 2002,

seuil qui a probablement été dépassé en 2004 (Cooke *et al.*, 2004). Chacune de ces enquêtes a mis en lumière un ensemble complexe de facteurs qui sont intervenus dans ce déclin, y compris les pertes de production associées au changement climatique et les incertitudes sur le plan de la gestion qui en découlent. Le déclin du saumon dans le Fraser, et ailleurs, a stimulé des initiatives visant la sensibilisation des organismes et de la société à l'importance de protéger la capacité de production des habitats pour les espèces sauvages et les pêches, étant donné le danger que constitue la croissance démographique rapide et la menace grandissante que représente le changement climatique en Colombie-Britannique (Pacific Fisheries Resource Conservation Council, 2006). Sans adaptation, de grandes régions de l'intérieur de la Colombie-Britannique et du bassin de Georgia pourraient connaître une poursuite de la diminution, voire l'élimination, du saumon. Dans ces régions, les impacts cumulatifs de l'activité humaine (Slaney *et al.*, 1996), auxquels s'ajoutent les changements du débit et de la température attribuables au changement climatique (Rosenau et Angelo, 2003), ont en effet déjà causé des problèmes importants de maintien des populations de poisson et des habitats. Les conflits entre le respect des besoins d'habitats pour la pêche et les besoins en eau d'autres secteurs (p. ex., mines, agriculture, énergie, urbanisation) vont très certainement s'intensifier dans les années à venir.

La perception des impacts du climat sur les pêches par rapport à des facteurs non climatiques varie beaucoup chez les groupes de gestionnaires, d'Autochtones, d'organismes de loisirs et d'entreprises commerciales. Des discussions multipartites tenues récemment dans le cadre de colloques semblent indiquer que les gens se rendent de plus en plus compte que le secteur des pêches ne reviendra probablement pas à son état antérieur (Interis, 2005) et qu'il faudrait adopter diverses mesures d'adaptation pour faire face aux défis du changement climatique. On compte parmi les mesures d'adaptation précises mentionnées : 1) réduire le taux de récolte pour réserver des marges de manœuvre à des fins de conservation, étant donné que la productivité des stocks est de plus en plus variable (Mantua et Francis, 2004); 2) consolider les mesures de protection et de restauration des habitats prises par tous les secteurs, en vue d'améliorer la durabilité des prises; 3) accroître la production de saumon en établissement de pisciculture, pour contrer le déclin de la capacité de production des habitats dulcicoles ou marins; 4) assujettir les réseaux fluviaux à des permis et des mesures de réglementation; 5) favoriser la mise en place plus rapide du secteur de l'aquaculture afin de répondre à la demande du marché en produits que la pêche de capture ne parvient pas à remplir. Il faudra peut-être adopter une série de mesures d'adaptation différente selon que les espèces récoltées ont une durée de vie courte ou longue, ou que l'on passe d'une pêche bien établie (p. ex., saumon, hareng) à celle d'espèces encore relativement non exploitées (p. ex., maquereau, calmar). Ces mesures pourraient prendre la forme de permis autorisant la récolte d'espèces multiples de durée de vie courte ou longue, ou d'une augmentation des investissements en vue d'accélérer la création d'infrastructures de transformation, de mise en marché et de gestion des nouvelles pêches.

3.3 FORESTERIE

Les 62 millions d'hectares de forêt de la Colombie-Britannique fournissent une large gamme de valeurs et de services sociaux, culturels, économiques et biologiques (Gagné *et al.*, 2004; Association des produits forestiers du Canada, 2006). On exploite chaque année environ 0,3 p.100 des forêts de la province et, en ce qui a trait aux pratiques de gestion en place, la lutte contre les incendies de forêt est la seule à laquelle on procède pour le moment sur une grande partie du territoire.

À l'heure actuelle, dans les forêts de la Colombie-Britannique, il y a surtout de vieux arbres, situation qui rend les forêts plus sujettes aux perturbations causées par le feu et les ravageurs (Cammell et Knight, 1992; Dale *et al.*, 2001; Volney et Hirsh, 2005). Le changement climatique est considéré comme l'un des facteurs responsables de l'augmentation récente des incendies (Gillett *et al.*, 2004) et des infestations de dendroctone du pin ponderosa (Carroll *et al.*, 2004), et de la brûlure des aiguilles (Woods *et al.*, 2005). Comme on l'a vu lors des incendies de Kelowna et de Barriere en 2003, les feux de forêt ont une incidence directe sur la propriété et la sécurité (Volney et Hirsch, 2005), et leurs répercussions sur la santé se font sentir à de grandes distances de l'incendie. Les répercussions économiques et sociales du dendroctone du pin ponderosa sont traitées en détail à la section 4.2. On s'attend à ce que la poursuite du changement climatique augmente encore davantage les risques de perturbation et attire d'autres ravageurs, comme le charançon du pin blanc (Sieben *et al.*, 1997). Dans les forêts côtières, l'augmentation prévue du nombre et de l'intensité des tempêtes fera croître le taux de dommages dus au vent. Les régions plus sèches de l'intérieur sud pourraient connaître des problèmes de régénération à cause de l'augmentation des sécheresses en été.

Le changement climatique a une influence directe sur les communautés d'essences du fait que les conditions optimales de croissance de peuplements locaux peuvent correspondre à des plages relativement étroites (Rehfeldt *et al.*, 1999, 2001; Parker *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2006). Par conséquent, bien que des essences puissent survivre à leur emplacement actuel malgré le changement climatique, leur taux de croissance pourrait changer et elles pourraient devoir subir la concurrence d'autres essences mieux adaptées au nouveau climat. Les aires de répartition possibles se déplacent vers les latitudes et altitudes plus élevées (Cumming et Burton, 1996; Hebda, 1997; Hansen *et al.*, 2001; Hamann et Wang, 2006). Par contre, cette migration sera contrainte par les obstacles au déplacement, la lenteur du processus de migration, l'absence de sols convenables ou le manque d'habitat (Stewart *et al.*, 1998; Gray, 2005). Dans l'ensemble, on s'attend à ce que les pertes de productivité des peuplements naturels et plantés surviennent dans les régions plus sèches et plus chaudes de la Colombie-Britannique, tandis que l'on devrait réaliser des gains modestes dans le nord (Rehfeldt *et al.*, 1999, 2001; Spittlehouse, 2003; Johnson et Williamson, 2005).

Le changement climatique aura un impact direct sur les activités forestières. Les changements s'opérant au niveau de la productivité auront des répercussions sur l'âge d'exploitation, la qualité du bois, le volume de bois et la taille des billots. L'accès au bois d'œuvre pourrait être restreint durant l'hiver en raison des conditions plus chaudes et plus humides, et durant l'été en raison de l'augmentation du risque d'incendie. Une augmentation de la fréquence et de

l'intensité des précipitations extrêmes aura des répercussions sur la conception et l'entretien des chemins forestiers (Bruce, 2003; Spittlehouse et Stewart, 2003), et augmentera la probabilité de glissements de terrain et de coulées de débris (Wieczorek et Glade, 2005). Les répercussions sur le secteur forestier seront également régies par les changements survenant dans le domaine technologique, les questions d'ordre commercial et l'évolution des préférences des consommateurs qui s'opérera en même temps que le changement climatique. Les produits de pays où la production devrait bénéficier de façon importante du changement climatique, situés en particulier en Amérique du Sud et en Océanie, remplacent déjà ceux de la Colombie-Britannique sur le marché international (Perez-Garcia *et al.*, 2002; Sohngen et Sedjo, 2005). De tels changements auront des répercussions sur la dynamique de l'offre et de la demande dans le secteur forestier.

Adaptation

La longue période de croissance qui précède l'exploitation d'une forêt signifie que l'approvisionnement en bois des cinquante prochaines années, ou plus, est déjà en place. C'est pourquoi les mesures d'adaptation à court terme concerneront surtout les activités d'exploitation. Déjà, l'augmentation des perturbations dues aux incendies et aux insectes a fait que la récolte comprend plus d'arbres récupérés, tendance qui se poursuivra dans les années à venir (Spittlehouse et Stewart, 2003; Volney et Hirsch, 2005). En matière de gestion des forêts, l'adaptation devra également tenir compte des répercussions du changement climatique autres que celles qui touchent directement les ressources en bois d'œuvre, afin de maintenir la biodiversité et d'assurer la continuité du paysage (*voir* Harding et McCullum, 1997; Stenseth *et al.*, 2002; Mote *et al.*, 2003; Moore *et al.*, 2005). En outre, l'augmentation de la concurrence de la part d'essences mieux adaptées au nouveau climat pourrait obliger le recours à des pratiques de gestion accrues des essences existantes (Parker *et al.*, 2000; Spittlehouse et Stewart, 2003; Spittlehouse, 2005).

Parmi les mesures d'adaptation à plus long terme figure la modification des pratiques de reboisement, en particulier le choix des essences puisque celles qui conviennent le mieux aux nouvelles conditions d'un emplacement désigné ne seront plus les mêmes (Rehfeldt *et al.*, 1999; Parker *et al.*, 2000; Spittlehouse et Stewart, 2003). Wang *et al.* (2006) ont démontré que, dans un scénario de changement climatique d'envergure moyenne en Colombie-Britannique, les zones où l'on peut semer le pin tordu latifolié se trouvent décalées vers le nord de plusieurs centaines de kilomètres. Par contre, il devient difficile d'assortir les essences plantées au nouveau climat, puisque ce dernier continuera d'évoluer durant la durée de vie du peuplement. Dans un tel cas, planter des essences à large plage thermique pourrait aider à assurer une productivité continue à certains emplacements de la Colombie-Britannique (Wang *et al.*, 2006).

Bien que les conditions météorologiques et le climat fassent partie des éléments que les responsables de la gestion forestière se doivent de prendre en considération, les politiques actuelles portant sur l'utilisation et la préservation des forêts reposent plutôt sur une compréhension de l'évolution des forêts s'étant déroulée au sein des conditions climatiques antérieures. Il se peut que ceci limite la capacité du secteur à répondre de façon optimale tant aux répercussions négatives que positives du changement climatique sur différentes régions forestières. Pour l'instant, rien n'oblige officiellement à inclure des mesures d'adaptation au changement climatique dans les plans de gestion forestière, et on ne dispose que de peu de personnel expérimenté pour mener ce type d'activités (Spittlehouse et Stewart, 2003; Spittlehouse, 2005). Comme les forêts de la Colombie-Britannique se trouvent en plus grande partie sur des terres de la Couronne, l'élaboration des politiques, l'établissement des objectifs de gestion et l'approbation des plans de gérance des entreprises forestières sont du ressort du gouvernement provincial. Ce dernier établit également les normes de sélection des essences et de transfert et d'entreposage des semences, attribue des terres aux parcs et aux aires à l'état sauvage, et se charge de maintenir les forêts en bonne santé et d'établir des parcelles de surveillance de la croissance. Dans ce contexte, Spittlehouse (2005) a souligné le besoin d'effectuer une évaluation plus détaillée de la vulnérabilité au changement climatique et d'élaborer et d'appliquer des mesures d'adaptation aux fins de gestion forestière. La section 4.2.2 résume les interventions du ministère des Forêts et des Pâturages de la Colombie-Britannique, qui constituent la première étape en ce sens.

3.4 AGRICULTURE

Le relief montagneux de la Colombie-Britannique et la diversité de son climat font que seulement 4,5 p.100 du territoire est cultivable. La protection de cette ressource limitée a été un des principaux facteurs de la création d'une réserve de terres agricoles de 4,7 millions d'hectares en 1974, un outil institutionnel utile pour aider à gérer et à maintenir les ressources agricoles de la province dans le contexte du changement climatique et d'autres besoins.

En fabriquant plus de 200 produits, l'industrie agroalimentaire de la Colombie-Britannique crée directement et indirectement environ 290 000 emplois, ce qui représente environ 14 p.100 de la main-d'œuvre de la province (BC Ministry of Agriculture and Lands, 2005a). L'industrie primaire est d'une importance relativement petite, mais ses retombées dans les domaines de la transformation, de la vente en gros et au détail, et dans le secteur de la restauration atteignent une valeur de plus de 22 milliards de dollars par année au chapitre des ventes au consommateur (BC Ministry of Agriculture and Lands, 2005b). La province produit de quoi répondre à près de 60 p.100 de ses besoins alimentaires (Smith, 1998). Elle exporte des produits alimentaires d'une valeur de plus de 3,4 milliards de dollars (BC Ministry of Agriculture and Lands, 2005a, b). La production agricole se concentre dans les collectivités rurales et assure une stabilité aux économies rurales axées sur les ressources locales.

La vulnérabilité du secteur agricole en Colombie-Britannique découle du jeu entre certains changements donnés du climat et des questions d'ordre mondial ou régional, y compris les marchés nouveaux et concurrents, et les coûts de production et de transport (Heinberg, 2003). Les tendances récentes du secteur agricole sont un déclin de son rôle dans l'économie de la Colombie-Britannique, une augmentation de sa dépendance à l'égard des importations d'autres parties du Canada, des États-Unis et du Mexique, une augmentation de la production en pépinière et en serre, un déclin de la capacité de transformation des aliments, une augmentation des préoccupations quant à la salubrité des aliments et une diminution de la demande des consommateurs en produits à base de viande (BC Ministry of Agriculture and Lands, 2005a). Parmi les risques d'ordre non climatique auxquels fait face le secteur de l'agriculture, on compte, entre autres, la perte de terres arables au profit de l'aménagement du territoire et de l'urbanisation, une compétitivité accrue du marché mondial et des marchés difficiles à gérer et à prévoir.

On a déjà évalué les conséquences potentielles du changement climatique sur l'agriculture en Colombie-Britannique (*voir* le tableau 6) en ayant recours au jugement d'experts (Zebarth *et al.*, 1997). Dans toutes les régions de la province, avec des saisons de croissance plus longues et des hivers plus doux, on devrait disposer de davantage de types de cultures possibles se prêtant à la production économique. L'augmentation des besoins en irrigation prévue sur la côte sud et dans l'intérieur sud pourrait entraîner des pénuries d'eau, provoquées par la réduction des précipitations et de la capacité de stockage de l'eau, et par la concurrence créée par une population urbaine en pleine croissance. On a considéré l'intérieur nord et la région de la rivière de la Paix comme les régions les plus prometteuses pour l'expansion agricole, puisque de grandes superficies de terres présentement non cultivées y conviennent de plus en plus à l'agriculture. Toutefois, le manque d'infrastructures pour l'approvisionnement en eau et le transport, et l'éloignement des marchés s'avèrent des obstacles au développement agricole dans ces régions.

Il est probable que les régions de production agricole devront se transformer pour s'ajuster à un climat en évolution et que certains producteurs pourront en profiter pour entreprendre de nouvelles cultures, peut-être plus rentables (Zebarth *et al.*, 1997). En Colombie-Britannique, les régions de production végétale sont définies par la productivité du sol, l'approvisionnement en eau et le climat. Les cultures annuelles sont restreintes par la longueur de la saison de croissance et par le nombre d'unités thermiques (degrés-jours de croissance, ou DJC); les cultures de vivaces sont limitées surtout par les températures minimales en hiver, mais aussi par la longueur de la saison de croissance et les DJC. L'utilisation actuelle des terres agricoles repose sur l'expérience à long terme et est régie par le climat et la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes (Caprio et Quamme, 1999, 2002, 2006). Dans un scénario de changement climatique d'envergure modérée, le changement prévu des DJC (Royal BC Museum, 2005a) révèle que, d'ici à 2020, il sera possible de cultiver des céréales, des choux et des pommes de terre (1 000 à 1 500 DJC) sur la plus grande partie du plateau de

TABLEAU 6 : Restrictions actuelles et futures imposées par le climat à la production agricole (Zebarth *et al.*, 1997).

Région côtière sud

Climat actuel :
Climat doux, humide
Température annuelle moyenne : 10 °C
Précipitations annuelles moyennes: 800 à 1700 mm, dont 70 p. 100 tombent d'octobre à mars
Période sans gel : 175 à 240 jours

Température future :
Élévation prévue de 2 à 3 °C
Précipitations futures :
Augmentation prévue de novembre à mai (5 à 10 p. 100)
Diminution prévue de juin à octobre (10 à 2 p. 100)

Type d'agriculture	Secteur agricole actuel	Restrictions attribuables au climat	Impacts du changement de la température à venir	Impacts du changement des précipitations à venir
Horticulture	Petits fruits : framboise, fraise, bleuet Légumes de plein champ : maïs, pomme de terre, chou, laitue	Vivaces : manque d'humidité l'été, plus d'irrigation requise Framboises : plants endommagés par le flux arctique en hiver Légumes de plein champ : températures basses, conditions de sol humide au printemps	Étés plus chauds : augmentation de la productivité Hivers plus doux : allongement de la saison de croissance; augmentation de la viabilité du poivron d'Amérique, des melons et des choux d'hiver, et double récolte	L'augmentation des précipitations en hiver pourrait restreindre la production des annuelles dans les sols gorgés d'eau Diminution des précipitations en été : pourrait exiger plus d'irrigation La réduction des maladies due aux conditions plus sèches favoriserait la production de petits fruits
Plantes fourragères	Graminées : paturage, foin, produits d'ensilage Maïs d'ensilage	Graminées: plants endommagés par le flux arctique en hiver Plantes fourragères : manque d'humidité en été, irrigation requise sur l'île de Vancouver	Printemps plus doux : récolte précoce des plantes fourragères Nouvelles espèces fourragères résistantes à la chaleur requises	L'augmentation des précipitations du printemps pourrait limiter la récolte et la qualité des plantes fourragères Étés chauds et secs : pourraient exiger plus d'irrigation dans la vallée du Fraser
Serre	Légumes : concombre, tomate, poivron d'Amérique Plantes ornementales		Hivers plus doux : réduction des frais de chauffage, augmentation des especes tropicales Étés plus chauds : augmentation des frais de climatisation	
Autres répercussions			Augmentation des ravageurs : survie des ravageurs et de leurs maladies en hiver; plus de cycles biologiques	Inondation, drainage des sols, compaction des sols, augmentation du lessivage des substances chimiques d'origine agricole

TABLEAU 6 : (*suite*)

Région intérieure sud

Climat actuel :
Température annuelle moyenne: 2 à 5 °C
Précipitations annuelles moyennes : 250 à 540 mm
Période sans gel : 110 à 180 jours

Température future :
Élévation prévue de 2 à 3 °C
Précipitations futures :
Augmentation prévue de novembre à mai (0 à 15 p. 100)
Diminution prévue de juin à octobre (0 à 10 p. 100)

Type d'agriculture	Secteur agricole actuel	Restrictions attribuables au climat	Impacts du changement de la température à venir	Impacts du changement des précipitations à venir
Horticulture	Vivaces : pomme, poire, pêche, prune, cerise, raisin de cuve Légumes de plein champ : tomate, poivron d'Amérique, aubergine, concombre	Vivaces : manque d'humidité l'été, plus d'irrigation requise; plants endommagés par le flux arctique en hiver Légumes de plein champ : manque d'humidité l'été, pourraient exiger plus d'irrigation	Hivers plus doux : allongement de la saison de croissance; nouvelles variétés qui exigent une saison de culture plus longue; réduction du risque de dommages par le froid Printemps précoce : augmentation du risque de gel Étés plus chauds : augmentation du risque d'obtenir des fruits de mauvaise qualité Étés plus chauds : raisin de meilleure qualité	L'augmentation des précipitations en hiver pourrait maintenir les sols humides et réduire le risque de dommages par le froid aux racines; pourrait améliorer la disponibilité de l'humidité au printemps Diminution des précipitations l'été : pourrait exiger plus d'irrigation Réduction des maladies dues aux conditions sèches; réduction du fendillement des cerises
Plantes fourragères	Graminées : paturage, foin, ensilage Autres : luzerne, maïs, céréales Grands pâturages secs	Manque d'humidité l'été, pourraient exiger plus d'irrigation Des températures basses en hiver pourraient limiter la production	Printemps plus doux : allongement de la saison de croissance : plus de récoltes de plantes fourragères, plus de pâturages Nouvelles espèces viables qui requièrent de la chaleur (maïs d'ensilage)	
Serre	Légumes : concombre, tomate, poivron d'Amérique Plantes ornementales		Hivers plus doux : diminution des frais de chauffage	
Autres répercussions			Augmentation du risque de pénurie d'eau aux fins d'irrigation Augmentation des ravageurs : survie des ravageurs et de leurs maladies en hiver; plus de cycles de vie	Augmentation du risque de pénurie d'eau aux fins d'irrigation

Région intérieure nord

Climat actuel :
Température annuelle moyenne: 2 à 5 °C
Précipitations annuelles moyennes: 450 à 600 mm
Période sans gel : 110 à 180 jours

Température future :
Élévation prévue de 2 à 3 °C
Précipitations futures :
Augmentation prévue de novembre à mai (0 à 10 p. 100)
Diminution prévue de juin à septembre[1] (5 à 20 p. 100)

Type d'agriculture	Secteur agricole actuel	Restrictions attribuables au climat	Impacts du changement de la température à venir	Impacts du changement des précipitations à venir
Plantes fourragères	Graminées : pâturage, foin, ensilage Céréales Grands pâturages naturels	Manque d'humidité l'été : de l'irrigation pourrait être requise Des températures basses l'hiver pourraient restreindre la production De courtes saisons de croissance limitent les choix de culture	Printemps plus doux : allongement de la saison de croissance, augmentation de la productivité, saison de pâturage plus longue Nouvelles espèces viables qui requièrent de la chaleur (maïs d'ensilage)	
Autres répercussions			Augmentation du risque de pénurie d'eau aux fins d'irrigation Augmentation des ravageurs : survie des ravageurs et de leurs maladies en hiver; plus de cycles de vie	Augmentation du risque de pénurie d'eau aux fins d'irrigation

[1] sauf en août (augmentation de 5 p. 100)

l'intérieur, de même que du maïs et des tomates (1 500 à 2 000 DJC) le long du Fraser, en remontant jusqu'à Prince George. D'ici les années 2050, le nombre de DJC sera assez élevé pour permettre la culture du maïs et des tomates dans la région de la rivière de la Paix et dans les vallées côtières du nord. Pour bien comprendre les changements qui s'opèrent au niveau de l'aptitude d'une région quelconque à se prêter à l'agriculture, en particulier celle des vivaces, il faut évaluer la durée des saisons de croissance à venir, déterminer les températures minimales extrêmes qu'elles peuvent endurer en hiver et calculer le potentiel d'irrigation de régions où l'eau est limitée. Il faudra également établir des cartes pédologiques détaillées des régions non cultivées. L'évaluation des éventuels régimes d'utilisation des terres devra aussi tenir compte des microclimats créés par le relief, qui détermineront, en fin de compte, les régions où seront pratiquées les cultures (p. ex., Bowen *et al.*, 2006).

Dans toutes les régions de la Colombie-Britannique, la possibilité d'une augmentation des sécheresses en été, accompagnée d'une diminution des ressources en eau, pose des difficultés pour l'irrigation (Zebarth *et al.*, 1997; Neilsen *et al.*, 2004a, b). Dans les régions qui dépendent beaucoup, ou entièrement, de l'irrigation, comme le bassin de l'Okanagan, la production commerciale exige qu'on puisse accéder à l'eau au moment opportun afin d'assurer la qualité des produits et de protéger l'investissement en plants d'espèces vivaces. Les risques associés aux sécheresses sont fonction de la gravité et de la fréquence de celles-ci (Neilsen *et al.*, 2006). Dans le cas de l'Okanagan (*voir* la section 4.3.2) et d'autres régions, une importante mesure d'adaptation du secteur de l'agriculture sera probablement le recours à des pratiques d'irrigation soucieuses de la conservation de l'eau (Neilsen *et al.*, 2001, 2003), comme l'irrigation déficitaire qui consiste à faire un arrosage insuffisant en vue d'améliorer la qualité des cultures et de réduire la consommation (Dry *et al.*, 2001).

Bien qu'on ne dispose que de peu de données sur le sujet pour la Colombie-Britannique, une élévation des températures en été et en hiver pourrait également entraîner l'introduction de nouveaux ravageurs et de nouvelles maladies agricoles.

Perception du risque et adaptation

Les producteurs agricoles sont habitués à faire face à l'incertitude en ce qui concerne les conditions météorologiques, les marchés, les ravageurs et les maladies, et le revenu potentiel. Des sondages menés dans la région de l'Okanagan ont révélé que les producteurs sont confrontés à des risques liés aux conditions météorologiques, aux incertitudes du marché et aux répercussions des ravageurs et des maladies sur la qualité et la quantité des cultures (*voir* la section 4.3.2; Belliveau *et al.*, 2006a, b). Les réponses aux risques d'ordre météorologique peuvent être à court ou à long terme, allant de l'adoption de pratiques spécifiques au besoin de faire des choix en matière de transformation ou de produits (Belliveau *et al.*, 2006a, b). Une stratégie de gestion du risque adoptée pour régler un problème donné risque d'en aggraver un autre par inadvertance. Par exemple, le programme d'arrachage de vignes, en 1988, et celui de la replantation de pommiers à partir de 1992 ont augmenté la vulnérabilité aux risques climatiques (*voir* la section 4.3.2). Les programmes de soutien, comme le Programme canadien de stabilisation du revenu agricole, pourraient encourager les producteurs à ne pas adopter des mesures d'adaptation susceptibles de réduire les risques (Beliveau *et al.*, 2006b). En règle générale, les programmes de protection du revenu sont une bonne chose en cas de perte de culture causée par le mauvais temps, mais sont moins efficaces pour protéger les fermiers contre les pertes causées par des effets plus subtils sur la qualité des récoltes ainsi que par le changement climatique persistant et à plus long terme.

3.5 TOURISME ET LOISIRS

Le tourisme est, après le secteur forestier, le deuxième secteur économique le plus important en Colombie-Britannique, totalisant environ 5,8 milliards de dollars en 2003 et 9,5 milliards de dollars en 2004 (BC Ministry of Labour and Citizens' Services, 2005b; Tourism BC, 2005a). Le secteur du tourisme crée plus de 117 500 emplois, soit environ 7 p.100 de tous les emplois de la province (Hallin, 2001; Tourism BC, 2005a). Alors que Vancouver et Victoria sont les principales destinations urbaines, les visiteurs sont également attirés par les montagnes de la Colombie-Britannique et les régions côtières. Bon nombre de collectivités axées sur les ressources naturelles considèrent maintenant le tourisme comme un moyen de restructuration économique, rendu nécessaire par le déclin des forêts et des pêches (Reed et Gill, 1997).

Les paysages, les régions à l'état sauvage et la faune de la Colombie-Britannique, de même que ses possibilités de chasse et de pêche, favorisent une industrie du tourisme florissante axée sur la nature et l'aventure. En 2001, la contribution des activités touristiques axées sur la nature au PIB de la province a été de 783 millions de dollars, et ce secteur touristique a rapporté 1,55 milliard de dollars en revenus (y compris les retombées; Tourism BC, 2005a, b) grâce surtout aux centres de villégiature et aux nombreux parcs et zones protégées de la Colombie-Britannique (*voir* la section 3.6).

Les effets du changement climatique sur les destinations touristiques se font déjà sentir. Dans le sud de l'intérieur, plus sec, les sécheresses et les incendies de forêt de l'été 2003 ont entraîné la fermeture d'un bon nombre de grandes routes de transport en Colombie-Britannique et détruit des récoltes de fruits et de raisins de cuve dans les vallées de l'Okanagan et de la Thompson-Nord. L'agrotourisme dans les vignobles et les vergers en a souffert, et les revenus hôteliers de la région ont diminué de 3 p.100 (Council of Tourism Associations, 2004). Ces régions et ces exploitations peuvent s'attendre à une augmentation de la fréquence des sécheresses dans les années à venir.

Le recul prévu de la limite des neiges permanentes sous l'effet du réchauffement (Scott, 2003a, b, 2006a) aura des répercussions sur les centres de ski de toute la province. Par exemple, le recul des glaciers alpins, qui permettent d'offrir des activités de ski hors saison, aura des conséquences sur les stations comme Whistler-Blackcomb. Des chutes de neige insuffisantes réduisent en outre le nombre de jours favorables au ski dans les stations comme Grouse, à Vancouver, et aux montagnes Seymour et Cypress (Scott *et al.*, 2005).

L'élévation du niveau de la mer et l'augmentation des risques d'érosion et d'inondation qui l'accompagne auront une incidence sur le tourisme dans les collectivités côtières (Craig-Smith *et al.*, 2006) et, donc, sur le réseau de transport, l'entretien des marinas et les activités de dragage, la sécurité des bateaux, le transport en hydravion, les résidences secondaires de loisir et les centres de villégiature. On trouvera à la section 3.2 les principales répercussions sur les pêches côtières qui concernent aussi la pêche sportive.

Adaptation

Les exploitations touristiques florissantes sont, de par leur nature, dynamiques et aptes à s'adapter aux changements environnementaux ou autres. Cette capacité d'adaptation semble indiquer que le secteur dispose des ressources nécessaires pour réagir aux impacts du changement climatique (Scott *et al.*, 2003). Les mesures d'adaptation font typiquement intervenir des réactions à court terme, comme des stratégies de commercialisation qui visent à modifier le comportement des touristes, et une planification à long terme visant à s'adapter aux répercussions locales du changement climatique. Cependant, le changement climatique ne constitue qu'un seul parmi plusieurs facteurs auxquels les activités touristiques doivent s'adapter. Les autres facteurs importants sont la concurrence sur le marché, la fluctuation du taux de change et les changements en matière d'exigences, d'intérêts et de profil démographique des touristes (Uysal, 1998). On applique déjà des mesures d'adaptation telles que le marketing de relance, la modification d'image ou la diversification des activités. Tofino, par exemple, qui est depuis longtemps une destination touristique estivale recherchée de la côte ouest de l'île de Vancouver, attire maintenant des touristes qui veulent observer les tempêtes hivernales (Dewar, 2005).

Une stratégie d'adaptation importante pour le tourisme tributaire des conditions météorologiques consiste à répartir le risque en diversifiant les activités offertes et en réduisant la dépendance à une seule saison d'activité. Les stations de ski se sont adaptées au changement climatique récent en fabriquant de la neige et en offrant des activités qui n'en ont pas besoin (Scott *et al.*, 2003; Scott, 2006b). Faire de la neige exige beaucoup de capital et des ressources en eau qui, dans de nombreuses régions, sont déjà menacées. Les grandes corporations qui possèdent plusieurs stations peuvent plus facilement s'adapter que les petites entreprises, car elles obtiennent plus facilement des capitaux pour les réaménagements et sont moins touchées par de mauvaises conditions à un site donné. Une saison de ski plus longue et plus prévisible grâce à la fabrication de la neige peut réduire les risques financiers en hiver et davantage stimuler la diversification, ce qui, en retour, permet d'attirer des investissements immobiliers et d'infrastructures tout au long de l'année (Scott, 2006b). Par exemple, la station Whistler-Blackcomb s'est diversifiée en offrant des activités en toute saison, dont le golf, le vélo tout terrain et la randonnée alpine. Dans certains cas, ces activités font appel aux mêmes infrastructures que le ski en hiver.

Parmi les autres grandes mesures d'adaptation, on compte des mesures améliorées de réduction des risques associés aux dangers naturels et une meilleure gestion et préparation aux situations d'urgence afin d'être en mesure de faire face aux inondations, glissements de terrain et avalanches qui risquent de se produire étant donné des conditions automnales et hivernales plus humides et plus douces.

3.6 PARCS ET ZONES PROTÉGÉES

Parmi toutes les provinces, c'est en Colombie-Britannique que l'on trouve la plus grande biodiversité et certains des écosystèmes les plus vulnérables et les plus fragmentés. La Colombie-Britannique compte 859 zones protégées, soit plus de 13 p.100 du paysage (environ 12,6 millions d'hectares). Ce n'est que depuis peu qu'on commence à tenir compte des répercussions du changement climatique dans les parcs nationaux canadiens, par exemple en définissant des géoindicateurs clés qui permettent de suivre l'évolution des changements (Welch, 2002, 2005). Il reste encore à prendre en considération les répercussions sur l'intégrité de l'écosystème des migrations d'espèces et des grands décalages des biomes qu'entraînera probablement le changement climatique (Scott et Lemieux, 2005). Comparativement aux régions terrestres, les zones protégées marines sont sous-représentées, puisque moins de 1 p.100 des eaux de la Colombie-Britannique sont complètement protégées. Les répercussions du changement climatique sur la température de surface de la mer, sur la migration et la diversité des espèces ainsi que sur la productivité de l'océan n'ont presque pas été prises en considération lors de la planification et de la gestion des zones protégées marines.

On a eu recours au programme ClimateBC pour simuler les effets des changements de la température et des précipitations à une échelle réduite de 1 km^2, à l'intérieur de certaines zones protégées (*voir* le tableau 7; Hamann et Wang, 2005; Wang *et al.*, 2006), en vue d'évaluer les réactions possibles de l'écosystème. Il faut remettre ces résultats modélisés dans le contexte de la dynamique passée de l'écosystème, des changements des régimes de perturbation (incendies, espèces envahissantes, ravageurs), des objectifs de gestion des terres et des besoins humains en ressources afin de mieux étayer ces évaluations et afin qu'elles puissent, en fin de compte, contribuer à l'élaboration de plans de gestion de l'adaptation visant plusieurs objectifs.

Dans les parcs de la Colombie-Britannique, les principales activités humaines sont le tourisme, l'utilisation des ressources traditionnelles par les Autochtones, l'exploitation des parcs comme telle et la recherche. Les principaux risques du changement climatique auxquels le réseau des parcs devra faire face sont : 1) la détérioration et la fragmentation des écosystèmes alpins et subalpins en raison de l'élévation des températures (Scott et Suffling, 2002; Suffling et Scott, 2002); 2) l'intensification des répercussions des dangers naturels (avalanches, tempêtes de vent, ondes de tempête, sécheresses, glissements de terrain) consécutive à l'augmentation de la fréquence et de l'ampleur des phénomènes météorologiques extrêmes, ce qui aura une incidence sur la sécurité des visiteurs et sur l'entretien des infrastructures et des services du parc; 3) la disparition et la migration d'espèces, et l'augmentation de la concurrence créée par la présence d'espèces exotiques, ainsi que leurs conséquences en matière de droits de récolte, de biodiversité et durabilité des espèces marines et terrestres. Les zones protégées les plus vulnérables sont les zones exposées à une activité humaine intense et au stress exercé par l'aménagement du territoire, notamment dans la région du District régional du Grand Vancouver - Lower Mainland (partie sud-ouest), du sud de l'île de Vancouver et de la vallée de l'Okanagan.

Adaptation

Le changement climatique menace l'objectif fondamental de la plupart des zones protégées et exige d'adopter une attitude dynamique face au concept du maintien de l'intégrité écologique. Parcs Canada a dressé une liste des réactions possibles aux répercussions actuelles et futures du changement climatique, y compris : améliorer la connectivité du paysage pour permettre la migration des espèces, agrandir certaines zones protégées, limiter

TABLEAU 7 : Normales climatologiques (moyennes de 1961 à 1990) et prévisions (2050) pour certains parcs de la Colombie-Britannique (moyennes estimées à partir d'une grille de 1 km au moyen de la version 2.0 du logiciel ClimateBC et du modèle climatique MCCG2, combiné au scénario d'émissions A2 provenant du rapport spécial sur les scénarios d'émissions du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).

	Altitude (m)	Température annuelle moyenne (°C)		Moyenne du mois le plus chaud (°C)		Moyenne du mois le plus froid (°C)		Moyenne des précipitations annuelles (mm)	
		Normale	2050	Normale	2050	Normale	2050	Normale	2050
PP Tweedsmuir	1254	1.2	3.4	11.3	13.4	-9.7	-7.0	914	938
PP Wells Gray	1487	0.8	3.0	11.7	13.9	-10.1	-6.7	1203	1241
PP Spatsizi	1522	-2.4	0.3	10.0	12.7	-13.9	-9.4	906	969
PP Garibaldi	1580	2.1	4.2	11.7	13.7	-6.2	-3.9	2745	2852
PP Granby	1759	1.6	3.9	12.8	15.0	-8.6	-5.9	966	973
PN Kootenay	1830	-0.1	2.4	11.6	13.9	-12.1	-8.3	1082	1099
PN Glacier	1829	-0.5	1.8	10.7	12.9	-11.3	-7.8	1988	2057
RPNÎG	84	9.7	11.8	16.2	18.3	3.8	5.9	798	842

	Moyenne des précipitations estivales (mm)		Moyenne des chutes de neige annuelles (mm)		Jours sans gel		Degrés-jours de croissance (D.J.C. >5 °C)		Jour de l'année où le cumul des D.J.C atteint 100 (débourrement)	
	Normale	2050	Normale	2050	Normale	2050	Normale	2050	Normale	2050
PP Tweedsmuir	253	246	493	416	124	158	682	1029	nd	145
PP Wells Gray	456	457	616	540	126	159	703	1049	166	145
PP Spatsizi	406	424	477	467	103	138	423	737	179	155
PP Garibaldi	569	538	1402	1077	136	169	725	1047	169	152
PP Granby	407	383	445	361	135	169	815	1163	165	147
PN Kootenay	500	486	518	459	116	150	678	1040	166	144
PN Glacier	565	555	1230	1126	121	152	542	852	nd	157
RPNÎG	157	146	42	30	322	349	1957	2688	89	27

les autres éléments de stress auxquels sont soumis les écosystèmes et mettre en œuvre des programmes de relocalisation des espèces (Hannah *et al.*, 2002; Welch, 2005). De même, des réseaux de conservation entre les zones protégées des régions déjà mises en valeur aideraient à favoriser le déplacement des espèces et à conserver la biodiversité dans des conditions de climat en évolution.

Des activités de surveillance et de recherche relatives aux réponses des espèces et des écosystèmes s'imposent, car elles permettent de documenter les impacts et d'étayer les approches de planification et de gestion de l'adaptation. Les zones protégées servent de points de repère en matière de gestion adaptative des écosystèmes au sein de paysages plus grands soumis aux pressions supplémentaires que constituent l'exploitation des ressources, leur utilisation à des fins agricoles et l'aménagement urbain.

3.7 ÉNERGIE

Les discussions sur le changement climatique et l'énergie portent surtout sur les liens entre la production d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. En Colombie-Britannique, où 89 p. 100 de l'électricité de la province est d'origine hydrique (BC Hydro, 2006), le secteur de l'énergie est très sensible aux impacts du changement climatique sur les ressources en eau (*voir* les sections 2.4, 3.1 et 4.3.1). Peu de recherches sur les répercussions du changement climatique et les mesures d'adaptation potentielles du secteur de l'énergie de la province ont été entreprises. Toutefois, les éléments suivants commencent à retenir l'attention des chercheurs et des gestionnaires en matière d'énergie :

- Des pénuries d'eau menacent déjà les ressources hydroélectriques de la Colombie-Britannique. Les réservoirs subissent les conséquences de la diminution de l'accumulation annuelle de neige et de l'apport des glaciers ainsi que des sécheresses fréquentes qui, toutes, contribuent à abaisser la capacité du réseau à répondre à la demande (BC Hydro, 2004).

TABLEAU 7 : Normales climatologiques (moyennes de 1961 à 1990) et prévisions (2050) pour certains parcs de la Colombie-Britannique (moyennes estimées à partir d'une grille de 1 km au moyen de la version 2.0 du logiciel ClimateBC et du modèle climatique MCCG2, combiné au scénario d'émissions A2 provenant du rapport spécial sur les scénarios d'émissions du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).

	Altitude (m)	Température annuelle moyenne (°C)		Moyenne du mois le plus chaud (°C)		Moyenne du mois le plus froid (°C)		Moyenne des précipitations annuelles (mm)	
		Normale	2050	Normale	2050	Normale	2050	Normale	2050
PP Tweedsmuir	1254	1,2	3,4	11,3	13,4	-9,7	-7,0	914	938
PP Wells Gray	1487	0,8	3,0	11,7	13,9	-10,1	-6,7	1203	1241
PP Spatsizi	1522	-2,4	0,3	10,0	12,7	-13,9	-9,4	906	969
PP Garibaldi	1580	2,1	4,2	11,7	13,7	-6,2	-3,9	2745	2852
PP Granby	1759	1,6	3,9	12,8	15,0	-8,6	-5,9	966	973
PN Kootenay	1830	-0,1	2,4	11,6	13,9	-12,1	-8,3	1082	1099
PN Glacier	1829	-0,5	1,8	10,7	12,9	-11,3	-7,8	1988	2057
RPNIG	84	9,7	11,8	16,2	18,3	3,8	5,9	798	842

	Moyenne des précipitations estivales (mm)		Moyenne des chutes de neige annuelles (mm)		Jours sans gel		Degrés-jours de croissance (DJC; >5 °C)		Jour de l'année où le cumul des DJC atteint 100 (débourrement)	
	Normale	2050	Normale	2050	Normale	2050	Normale	2050	Normale	2050
PP Tweedsmuir	253	246	493	416	124	158	682	1029	nd	145
PP Wells Gray	456	457	616	540	126	159	703	1049	166	145
PP Spatsizi	406	424	477	467	103	138	423	737	179	155
PP Garibaldi	569	538	1402	1077	136	169	725	1047	169	152
PP Granby	407	383	445	361	135	169	815	1163	165	147
PN Kootenay	500	486	518	459	116	150	678	1040	166	144
PN Glacier	565	555	1230	1126	121	152	542	852	nd	157
RPNIG	157	146	42	30	322	349	1957	2688	89	27

les autres éléments de stress auxquels sont soumis les écosystèmes et mettre en œuvre des programmes de relocalisation des espèces (Hannah *et al.*, 2002; Welch, 2005). De même, des réseaux de conservation entre les zones protégées des régions déjà mises en valeur aideraient à favoriser le déplacement des espèces et à conserver la biodiversité dans des conditions de climat en évolution.

Des activités de surveillance et de recherche relatives aux réponses des espèces et des écosystèmes s'imposent, car elles permettent de documenter les impacts et d'étayer les approches de planification et de gestion de l'adaptation. Les zones protégées servent de points de repère en matière de gestion adaptative des écosystèmes au sein de paysages plus grands soumis aux pressions supplémentaires que constituent l'exploitation des ressources, leur utilisation à des fins agricoles et l'aménagement urbain.

3.7 ÉNERGIE

Les discussions sur le changement climatique et l'énergie portent surtout sur les liens entre la production d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. En Colombie-Britannique, où 89 p.100 de l'électricité de la province est d'origine hydrique (BC Hydro, 2006), le secteur de l'énergie est très sensible aux impacts du changement climatique sur les ressources en eau (*voir* les sections 2.4, 3.1 et 4.3.1). Peu de recherches sur les répercussions du changement climatique et les mesures d'adaptation potentielles du secteur de l'énergie de la province ont été entreprises. Toutefois, les éléments suivants commencent à retenir l'attention des chercheurs et des gestionnaires en matière d'énergie :

- Des pénuries d'eau menacent déjà les ressources hydroélectriques de la Colombie-Britannique. Les réservoirs subissent les conséquences de la diminution de l'accumulation annuelle de neige et de l'apport des glaciers ainsi que des sécheresses fréquentes qui, toutes, contribuent à abaisser la capacité du réseau à répondre à la demande (BC Hydro, 2004).

- On s'attend à ce que, en 2025, la demande d'électricité de la Colombie-Britannique soit de 33 p.100 à 60 p.100 plus élevée qu'en 2005 (BC Hydro, 2006). On prévoit que toutes les nouvelles mesures de production d'électricité, y compris les centrales alimentées au charbon, seront des installations à émission nulle de gaz à effet de serre (BC Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, 2007).
- La demande saisonnière et plus à long terme d'énergie pour les édifices (p. ex., augmentation de la climatisation, diminution du chauffage) changera dans toute la province en réaction au changement climatique. D'ici à 2010, on propose de mettre en place de nouvelles normes pour la construction d'édifices à haut rendement énergétique (BC Ministry of Environment, Mines and Petroleum Resources, 2007).

Pour les principaux réservoirs de production d'hydroélectricité de la Colombie-Britannique, sur le Columbia et la rivière de la Paix, l'apport en eau provient surtout de l'accumulation annuelle de neige et de la fonte des glaciers. Certaines installations au fil de l'eau n'ont qu'une capacité de stockage limitée et exigent un débit continu. Des études de la vulnérabilité découlant des impacts du changement climatique sur l'apport en eau et la production d'hydroélectricité sont en cours pour les bassins Williston-Paix, Bridge et Columbia, et la variabilité actuelle du climat est un facteur important à prendre en considération lors de la planification de stratégies d'exploitation des réservoirs (BC Ministry of Environment, 2004).

On s'attend également à une modification importante de la demande d'énergie consécutive au réchauffement, soit une diminution de la demande pour le chauffage et une augmentation pour la climatisation. Des modèles explicatifs mis au point par le Royal BC Museum (2005b), basés sur les changements prévus des degrés-jours de chauffage et de climatisation, révèlent que, d'ici à 2080, la demande d'énergie aux fins de chauffage domestique dans la région de Vancouver pourrait diminuer de 28 p.100 à 55 p.100 et que la demande en été pour la climatisation pourrait augmenter de 150 p.100 à 350 p.100 (*voir* les figures 8 et 9).

Adaptation

BC Hydro espère répondre à environ 50 p.100 de cette augmentation de la demande d'ici à 2020 en mettant en œuvre des mesures de conservation et d'efficacité, y compris des programmes à l'intention des consommateurs et de l'industrie de la construction (BC Ministry of Environment, Mines and Petroleum Resources, 2007). Il existe déjà de nombreux programmes qui font la promotion de l'efficacité énergétique (p. ex., *voir* BC Sustainable Energy Association, 2006; BC Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, 2006; FortisBC, 2006, Ressources naturelles

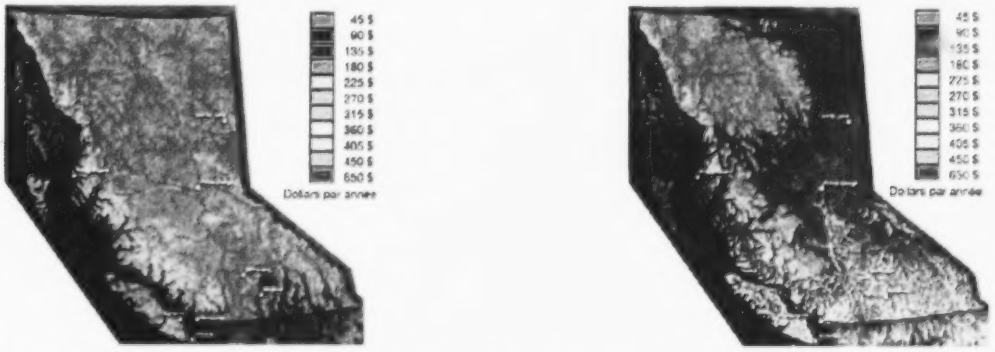


FIGURE 8 : Coûts de la climatisation en été pour une résidence typique de la Colombie-Britannique. Le graphique de gauche illustre les coûts de base et, celui de droite, les coûts prévus pour 2080, en fonction d'un scénario de changement climatique de forte envergure (Royal BC Museum, 2005b).

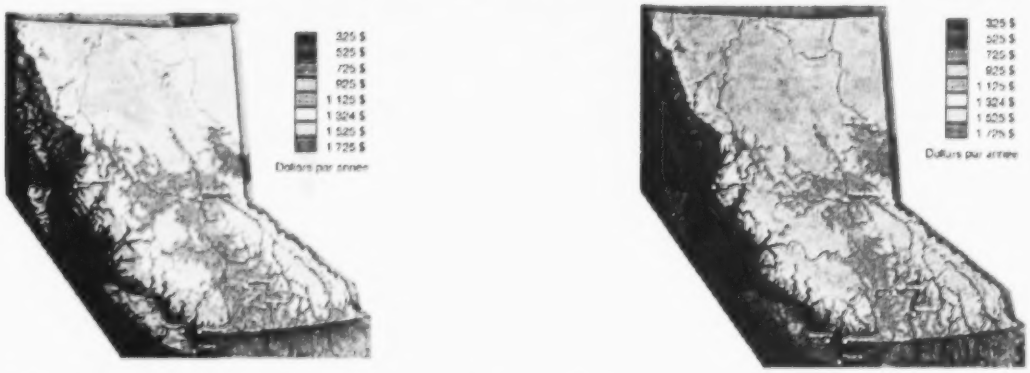


FIGURE 9 : Coûts du chauffage en hiver pour une résidence typique de la Colombie-Britannique. Le graphique de gauche illustre les coûts de base actuel et, celui de droite, les coûts prévus pour 2080, en fonction d'un scénario de changement climatique de forte envergure (Royal BC Museum, 2005b).

Canada, 2006a). Ces projets, et d'autres du même genre, sont avantageux sur les plans de l'adaptation et de l'atténuation en ce qu'ils réduisent les émissions de gaz à effet de serre ainsi que les pressions de la demande sur les sources d'électricité sensibles au climat.

Les producteurs d'électricité indépendants, notamment les usines de production au charbon, et des mesures d'amélioration de l'efficacité des centrales en place pourront aider à répondre au reste de la demande future (BC Hydro, 2006). Selon le plan intégré d'électricité de BC Hydro (2006), des sources renouvelables, dont l'hydroélectricité, la biomasse et l'énergie éolienne, répondront à au moins 50 p.100 des nouveaux besoins en électricité. On prévoit que toutes les nouvelles mesures de production d'électricité, y compris les centrales alimentées au charbon, seront des installations à émission nulle de gaz à effet de serre (BC Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, 2007).

Les prévisions sur les besoins en énergie et les options d'approvisionnement futurs doivent tenir compte des répercussions du changement climatique, car l'amélioration de l'efficacité énergétique et de la conception des édifices ne pourra compenser qu'une partie des augmentations prévues des besoins en électricité. Procéder à l'amélioration de modèles prévisionnels des débits fluviaux qui tiennent compte du changement climatique constitue un excellent point de départ dans l'évaluation des vulnérabilités relatives à la production d'hydroélectricité. Parmi les mesures d'adaptation possibles figure l'augmentation de la capacité des réservoirs au moyen d'un système à réserve pompée qui stocke l'eau au-dessus du réservoir en vue d'alimenter la centrale.

3.8 INFRASTRUCTURES ESSENTIELLES

Les infrastructures essentielles comprennent divers réseaux, installations, systèmes et services technologiques qui sont cruciaux pour le bien-être et le fonctionnement d'une société (Sécurité publique Canada, 2006). Il s'agit d'une multitude d'installations visant à fournir de l'énergie et des services publics, des soins de santé, des services de transport, des aliments, des industries, des moyens de communication et d'information, des technologies, des services financiers, des mesures de sécurité et des secours en cas d'urgence, et une force de défense. Les effets des récents phénomènes météorologiques extrêmes ont mis en évidence les vulnérabilités de ces installations interreliées et interdépendantes. Le système de gestion des interventions en cas d'urgence de la Colombie-Britannique (British Columbia Emergency Response Management System, ou BC-ERMS, BC Ministry of Public Safety and Solicitor General, 2006) signale ces vulnérabilités et vise à réduire les répercussions des dangers environnementaux, comme les inondations et les incendies de forêt. La protection et la planification des infrastructures essentielles relève, cependant, de nombreux organismes publics à tous les paliers de gouvernement.

En 2003-2005, une augmentation importante du nombre de plusieurs types de phénomènes météorologiques extrêmes qui ont exigé des interventions de grande envergure s'est produite en Colombie-Britannique, comparativement à la décennie précédente (*voir* le tableau 8). Le BC-ERMS se charge de gérer ces situations d'urgence lorsque les répercussions sur une collectivité ou sur des infrastructures importantes risquent de dépasser la capacité

TABLEAU 8 : Tendances des situations d'urgence en Colombie-Britannique (Whyte, 2006). Les demandes de dédommagement présentées dans le tableau font état des « dommages admissibles », qui satisfont aux exigences du programme d'assistance financière après un désastre (ne couvre pas nécessairement tous les dommages qui ont pu se produire) et représentent la part des coûts que s'engagent à payer les gouvernements fédéral et provincial.

Paramètre	1990 à 2002	2003 à 2005
Nombre moyen d'événements-seuils[1] par an	1	2
Nombre de catastrophes importantes nécessitant une aide financière par an	2 à 3	3 à 5
Moyenne des frais encourus à la suite de catastrophes importantes nécessitant une aide financière	10 millions de dollars	43 millions de dollars
Fréquence des évacuations	Tous les 2 à 3 ans	2 fois par an
Fréquence des états d'urgence	Rare	1 provincial et 10 locaux en 3 ans

[1] Un événement-seuil correspond à une catastrophe dont les frais admissibles atteignent 4 millions de dollars.

d'intervention des autorités locales. Le BC-ERMS est conscient que la fréquence et la gravité des dangers naturels comme les incendies de forêt, les inondations, les sécheresses, les phénomènes dévastateurs et les proliférations de ravageurs risquent d'augmenter avec le changement climatique. Son intervention peut être réactive, en appuyant les demandes de dédommagement des collectivités, des entreprises et des propriétaires, ou proactive, en soutenant les projets de réduction des risques associés aux dangers naturels et les programmes de sensibilisation et d'éducation mis en place par les autorités et les collectivités locales. Le soutien maximal relatif aux demandes individuelles de dédommagement a récemment triplé, passant de 100 000 $ à 300 000 $ (Whyte, 2006). En augmentant la sensibilisation au risque et la préparation en cas d'urgence, le BC-ERMS améliore également la capacité d'adaptation face au changement climatique.

Transports

Les transports et les activités qui les accompagnent (p. ex., mise en entrepôt, construction de pipelines, visites touristiques, services de messagerie) constituent un élément important de l'économie de la Colombie-Britannique. En 2004, ce secteur représentait 6 p.100 du PIB provincial et employait 6 p.100 de la main-d'œuvre (plus de 115 000 personnes; BC Ministry of Labour and Citizens' Services, 2005a). Les principaux éléments du secteur du transport, soit les transports routier, ferroviaire, aérien et maritime, jouent un rôle de première importance en reliant les autres secteurs clés de l'économie (p. ex., foresterie) à leurs marchés et usines de transformation. Plus de 65 000 km de routes font circuler chaque année plus de 2 millions de véhicules privés et de service en Colombie-Britannique (Transports Canada, 2005). Près de 65 p.100 du réseau appartient à

la province, 32 p.100 à des municipalités et 3 p.100 au fédéral. Dans le domaine du transport maritime, la Colombie-Britannique compte plus de 135 ports privés et publics, qui desservent 95 p.100 du commerce international de la province (BC Ministry of Small Business and Economic Development et Ministry of Transportation, 2005). Les marchandises en provenance ou en direction des trois principaux ports commerciaux, soit Vancouver, Fraser et Prince Rupert, sont transportées par train (66 p.100) et par camion (33 p.100), et on s'attend à ce que le nombre de conteneurs triple d'ici à 2020, passant de 2 à 6 millions par année (Greater Vancouver Transportation Authority, 2005).

Le changement climatique aura de nombreuses répercussions sur les infrastructures de la Colombie-Britannique. L'augmentation de fréquence de certains phénomènes météorologiques extrêmes fera grimper les coûts d'entretien et les frais d'assurance, et fera ressortir les limites de certaines normes de conception actuelles. L'état des routes, qui est certes surtout fonction du poids des véhicules et de la densité de circulation, est également touché par les conditions climatiques. Par exemple, l'augmentation des coûts d'entretien à Prince George est partiellement attribuable aux fréquents épisodes de gel-dégel associés aux hivers plus chauds des dernières années (Dyer, 2006). Le changement climatique aura aussi des répercussions avantageuses pour le secteur des transports. Par exemple, au cours de l'hiver 1997-1998, l'influence d'El Niño a entraîné du temps plus doux et a ainsi contribué à une réduction importante du nombre d'accidents de la route en Colombie-Britannique (Environnement Canada, 2003).

Services publics

Les réseaux de gestion de l'approvisionnement en eau et des eaux pluviales de la Colombie-Britannique continueront de subir les répercussions du changement climatique et des projets d'aménagement du territoire qui se poursuivent. Il faudra donc tenir compte des principaux effets suivants : 1) baisse de l'approvisionnement en eau durant l'été et l'automne (*voir* les sections 2.4 et 3.1); 2) déséquilibre entre la demande et la recharge des réservoirs qui approvisionnent les grands centres urbains de la Colombie-Britannique (*voir* la section 4.4.1); 3) augmentation de la demande en systèmes de traitement de l'eau potable et des eaux usées dans des collectivités en croissance rapide; 4) surcharge des systèmes de gestion des eaux pluviales consécutive à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes de précipitations extrêmes (*voir* la section 4.4.2).

Dans un avenir rapproché, on planifie l'expansion des principaux pipelines transportant vers les marchés étrangers le pétrole et le gaz naturel des territoires du nord et du nord-est de la Colombie-Britannique. La planification, la conception et la construction de pipelines dans les régions de montagnes et de pergélisol de la Colombie-Britannique devront tenir compte des répercussions du changement climatique sur ces régions (p. ex., fonte du pergélisol, glissements de terrain, éboulements) afin d'éviter une hausse des coûts d'entretien et, peut-être, des réparations majeures et des travaux de remise en état de l'environnement.

3.9 SANTÉ

La vulnérabilité de la santé humaine est fonction de facteurs biologiques, environnementaux et socioéconomiques interreliés (p. ex., immunité, milieu urbain, revenus, accès aux services de santé; Woodward *et al.*, 2000). Le changement climatique représente une menace à la fois directe et indirecte pour la santé des particuliers et des populations. Les menaces directes se manifestent sous la forme d'une hausse des blessures, maladies et décès liés à la chaleur, de détérioration de la qualité de l'air, de dangers naturels et de phénomènes météorologiques extrêmes. Les menaces indirectes comprennent l'exposition aux maladies à transmission aérienne, hydrique ou vectorielle et une détérioration de la santé de l'écosystème (McMichael *et al.*, 2003; Haines et Patz, 2004).

Stress thermique et qualité de l'air

Le stress thermique est chaque année associé à des milliers de décès au Canada (Smoyer-Tomic *et al.*, 2003). On s'attend à ce que le changement climatique entraîne des vagues de chaleur plus fréquentes, plus intenses et plus longues qui auront des incidences importantes, notamment les coups de chaleur, la déshydratation, les maladies respiratoires et cardiovasculaires, et la mort (McGeehin et Mirabelli, 2001). Les répercussions des vagues de chaleur survenues récemment dans d'autres pays ont révélé que les populations vulnérables sont les personnes âgées, les enfants, les démunis et les personnes isolées sur le plan social (Klinenberg, 2002; Crabbe, 2003). Même si la chaleur peut sembler moins menaçante en Colombie-Britannique que dans le centre du Canada (*voir* les chapitres 5 et 6), bon nombre des habitants de la province ne sont pas habitués à des températures dépassant 30 °C (Smoyer-Tomic *et al.*, 2003). Les grandes populations urbaines du District régional du Grand Vancouver et de la vallée de l'Okanagan sont particulièrement vulnérables. Présentement, les consultations pour des urgences de nature autre que respiratoire à Vancouver augmentent à mesure que la température d'été croît (Burnett *et al.*, 2003) et ils devraient se faire plus nombreuses avec le vieillissement de la population.

L'augmentation de la pollution de l'air dans les zones urbaines déjà exposées aux risques d'une mauvaise qualité de l'air, en particulier les régions de Vancouver et de Prince George et la vallée de l'Okanagan, aura également d'importantes conséquences sur la santé. Les polluants atmosphériques provoquent une respiration sifflante, des crises d'asthme et une baisse de la fonction pulmonaire, et sont associés à une augmentation des maladies respiratoires, des accidents cérébrovasculaires, des crises cardiaques et des décès prématurés, en particulier chez les personnes âgées et les enfants (Brook, 1998; Burnett *et al.*, 1998; Kondro, 2000; Van Eeden *et al.*, 2001; Brauer *et al.*, 2002, 2003). L'augmentation prévue des incendies de forêt due au changement climatique fera croître l'exposition aux particules fines de la fumée de combustion du bois (*voir* Dods et Copes, 2005). Ces dernières sont liées à des décès prématurés, à l'aggravation de l'asthme, aux symptômes respiratoires aigus et à la bronchite chronique, et à une baisse de la fonction respiratoire, en particulier chez les enfants (Vedal, 1993).

L'augmentation du stress thermique et de l'exposition à la pollution de l'air fera croître le nombre de cas de maladies, d'absentéisme, d'hospitalisations et de décès prématurés. Déjà, le fardeau annuel

des coûts du système de santé dû à la pollution de l'air extérieur en Colombie-Britannique a été évalué à environ 85 millions de dollars (BC Ministry of Health, 2004).

Exposition aux maladies

On s'attend à ce que le changement climatique entraine une augmentation des maladies à transmission hydrique, vectorielle (p. ex., animaux, insectes) et aérienne. Les maladies à transmission hydrique augmenteront probablement dans certaines régions de la Colombie-Britannique en même temps que les précipitations et les inondations. Depuis les années 1980, il y a eu en Colombie-Britannique 29 épidémies attribuables à la présence de parasites, de bactéries et de virus dans les réseaux d'eau potable (Mullens, 1996; Wallis *et al.*, 1996). Les avis de faire bouillir l'eau sont fréquents. On en a émis 304 en août 2001 (BC Ministry of Health Planning et Ministry of Health Services, 2001). Les très fortes précipitations contribuent également à créer des niveaux de turbidité élevés qui ont une incidence sur le rendement des systèmes de désinfection de l'eau potable. Au cours de novembre 2006, près d'un million de personnes ont dû respecter pendant douze jours un avis de faire bouillir l'eau émis par les agents responsables de la santé du District régional du Grand Vancouver après que des pluies fortes eurent causé des niveaux de turbidité sans précédent au cours des dernières années (Greater Vancouver Regional District, 2006). Les collectivités des Premières nations sont particulièrement vulnérables et reçoivent présentement plus d'avis sur la qualité de l'eau que le reste du Canada en raison de la déficience des infrastructures.

Le changement climatique permettra à de nombreux vecteurs, comme les moustiques, les tiques et les rongeurs, d'étendre leur aire de répartition et donc d'accroître le risque d'exposition humaine. Par exemple, la propagation du virus du Nil occidental, transmis par un moustique et qui ne s'est pas encore manifesté en Colombie-Britannique, est due en partie au changement climatique; il pourrait donc devenir le principal agent infectieux responsable d'arboviroses en Amérique du Nord (Morshed, 2003). L'encéphalite et la maladie de Lyme, transmises par des tiques, pourraient se répandre si les hivers deviennent plus chauds, comme on l'a observé en Europe dans les années 1990 (Lindgren *et al.*, 2000).

En 1994, le premier cas de syndrome pulmonaire dû à l'hantavirus (SPH) au Canada a été détecté en Colombie-Britannique (Stephen *et al.*, 1994), et on en a découvert 50 nouveaux depuis (BC Ministry of Health, 2005). Aux États-Unis, les épidémies de SPH sont liées à un accroissement des populations de rongeurs dû aux changements d'ordre climatique et écologique (Wenzel, 1994; Engelthaler *et al.*, 1999; Glass, 2000). Des hivers doux favorisent la capacité de reproduction des rongeurs (Mills *et al.*, 1999; Drebot *et al.*, 2000), et le changement climatique risque d'aggraver cette situation.

Cryptococcus gattii, un minuscule champignon tropical du type levure, a été détecté sur l'île de Vancouver en 1999 et dans les régions sanitaires de la côte de Vancouver et du Fraser (BC Centre for Disease Control, 2005). Après inhalation, le champignon peut causer une maladie grave et même la mort, car il s'attaque aux poumons (pneumonie) et au système nerveux (méningite). Le changement remarqué dans l'aire de répartition de cet agent pathogène est lié au réchauffement (Kidd *et al.*, 2004).

Sécurité alimentaire, bien-être et sécurité du public

Le changement climatique aura une incidence sur l'accès aux ressources alimentaires, en particulier en régions rurales et dans les collectivités des Premières nations dont la subsistance dépend de la chasse, du piégeage, de la cueillette et de la pêche (O'Neil *et al.*, 1997; Wheatley, 1998). Cette situation ne fera qu'aggraver le degré d'insécurité alimentaire actuelle (Willows, 2005).

Des proliférations d'algues nuisibles, ou « marées rouges », peuvent se produire en été à l'occasion de vagues de chaleur prolongées. L'élévation de la température à la surface de l'océan et les tempêtes associées au changement climatique stimulent ces proliférations en Colombie-Britannique (Mudie *et al.*, 2002). Les marées rouges les plus toxiques sont attribuables aux dinoflagellés, qui entraînent la maladie ou la mort chez ceux qui consomment une grande quantité de mollusques et crustacés atteints (Mudie *et al.*, 2002). De graves intoxications paralysantes par les mollusques (IPM) se sont d'ailleurs produites sur la côte de la Colombie-Britannique (Taylor, 1993). En juin 2006, la plupart des zones de cueillette des mollusques de l'île de Vancouver et des îles Gulf ont été fermées pendant plusieurs semaines. Avec l'augmentation des températures de la surface de l'océan, combinée à l'expansion de l'industrie de l'aquaculture en Colombie-Britannique, on peut s'attendre à un accroissement de l'incidence des répercussions économiques et sanitaires liées à la prolifération d'algues nuisibles.

La sécurité de l'approvisionnement en eau potable est une préoccupation de première importance pour les régions soumises à des stress hydriques. La fiabilité passée des sources d'eau n'est pas une assurance contre les pénuries, comme on l'a constaté à Tofino, centre de villégiature de la côte ouest de l'île de Vancouver. La municipalité de Tofino, pourtant habituée à un climat très humide, a connu une importante pénurie d'eau à l'été 2006 en raison de l'augmentation de la demande et d'une sécheresse prolongée. La vulnérabilité de ces collectivités aux pénuries d'eau et à leurs répercussions sur la santé augmentera probablement sous l'effet du changement climatique et des pressions croissantes associées au développement. La *Loi sur la protection de l'eau potable (Drinking Water Protection Act*; BC Statutes and Regulations, 2001) vise à renforcer les mesures de protection de l'eau en Colombie-Britannique, mais passe presque sous silence l'adaptation au changement climatique.

L'augmentation de la fréquence des phénomènes extrêmes d'ordre météorologique, comme les inondations, les ondes de tempête, les glissements de terrain et les incendies de forêt, constitue un risque important pour la sécurité publique. Les répercussions sur la santé sont entre autres les blessures, l'exposition accrue aux maladies et des problèmes de santé mentale découlant de stress psychologiques et financiers (Ahern *et al.*, 2005). Les collectivités éloignées sont particulièrement vulnérables, car elles ne disposent souvent que de services essentiels limités et d'infrastructures essentielles vulnérables pour assurer la distribution des aliments, des fournitures médicales et autres biens et services indispensables (*voir* les sections 3.8 et 4.1).

Enfin, il existe des rapports étroits entre les répercussions sur l'écosystème, qu'elles soient causées par le climat ou d'autres facteurs, les moyens de subsistance (c.-à-d. emplois, revenus) et la santé des collectivités et des populations (Hertzman *et al.*, 1994;

Raphael, 2001). Des recherches sur les collectivités côtières de la Colombie-Britannique établissent un lien clair entre la détérioration de l'écosystème et des conditions économiques et sociales et les conséquences sur la santé (Ommer, 2007).

Adaptation

On observe une prise de conscience croissante des impacts du changement climatique sur la santé publique, en particulier en ce qui concerne l'augmentation de la pollution de l'air (BC Ministry of Health Services, 2004). Les réseaux de recherche sur la santé s'améliorent également (p. ex., le BC Environment and Occupational Health Research Network). Il demeure qu'il faudra poursuivre les recherches sur les liens entre le changement climatique et les répercussions sur la santé. En outre, la coordination de la surveillance des maladies avec la surveillance tant du climat que de l'environnement pourrait fournir des indications importantes à cet égard.

L'adoption de mesures d'adaptation en matière de santé publique exige une démarche transsectorielle faisant intervenir les gestionnaires de l'environnement, les promoteurs d'infrastructures, les urbanistes ruraux et urbains, les travailleurs et les administrateurs du secteur des soins de la santé, les éducateurs en santé publique, les politiciens et les chercheurs. Elle exige également de disposer de plus d'informations sur la prévention et le traitement des maladies liées au climat ainsi que sur les mesures de protection contre ces maladies, (Parkinson et Butler, 2005) mises à la disposition des habitants de la Colombie-Britannique.

4 VERS L'ADAPTATION : ÉTUDES DE CAS EN COLOMBIE-BRITANNIQUE

La vulnérabilité et la capacité d'adaptation au changement climatique des collectivités de la Colombie-Britannique sont le produit de processus sociaux et de conditions environnementales ainsi que, plus particulièrement, de l'interaction s'opérant aux échelles locale et régionale (Dolan et Walker, 2007). Les principaux facteurs qui influent sur la capacité d'adaptation en Colombie-Britannique sont les suivants :

- La grande dépendance à l'égard des ressources naturelles, en particulier du secteur forestier, expose les collectivités de la Colombie-Britannique aux changements touchant l'environnement et le marché, et à la combinaison de stress d'ordre climatique et non climatique (O'Brien et Leichenko, 2000).
- Les structures de gouvernance, qui déterminent comment les gens peuvent utiliser les écosystèmes et y avoir accès, établissent un équilibre entre les usages sociaux et économiques des ressources. Parmi les structures existantes, peu tiennent explicitement compte des répercussions du changement climatique, et encore moins ont déjà mis en œuvre des changements de politiques spécifiques à l'adaptation.
- La diversité des valeurs socioculturelles et les intérêts socio-économiques concurrents sous-tendent les débats sur la façon de mieux planifier et protéger les ressources et l'environnement. Le changement climatique rend la recherche d'un compromis efficace plus compliquée et les résultats, plus difficiles à prévoir.

Les études de cas présentées dans cette section mettent en lumière comment ces facteurs et d'autres aspects d'une collectivité, d'une région ou d'une activité économique agissent sur leur capacité de s'adapter au changement climatique. Pour s'adapter, en règle générale, les collectivités ont besoin de réseaux sociaux, de services, de structures de gouvernance, d'infrastructures et d'activités économiques résilientes en mesure de résister à divers changements d'ordre environnemental et socioéconomique (p. ex., Dolan et Walker, 2007; Young, 2006b; Ommer, 2007; Page *et al.*, 2007; Enns *et al.*, sous presse). La capacité d'adaptation peut être améliorée, ou limitée, par la nature et la structure des relations décisionnelles et des politiques de planification. Une participation accrue des intéressés au paysage sociopolitique de la Colombie-Britannique, à l'échelle tant locale que régionale (Hoberg, 1996; Seely *et al.*, 2004), a favorisé l'intégration des valeurs et des intérêts locaux au processus de planification de l'utilisation des terres. Par exemple, le conflit sur les pratiques de récolte dans les forêts anciennes à la fin des années 1990 (Standbury, 2000; Cashore, 2001) a permis d'élaborer le processus multipartite de planification de la gestion des terres et des ressources (Land and Resource Management Planning; BC Ministry of Agriculture and Lands, 1993), processus spécifiquement adopté à l'échelle locale et régionale. Ce dernier a assez bien réussi à concilier des positions opposées et à régler des différends concernant les terres et les ressources (Frame *et al.*, 2004), bien qu'on n'ait pas encore ajusté son mandat pour inclure les impacts possibles du changement climatique ni les questions ayant trait à l'adaptation (Hagerman et Dowlatabadi, 2006).

L'efficacité de la gouvernance, sur le plan local et à des niveaux plus élevés, est un autre facteur qui agit sur la capacité d'adaptation. À l'échelle locale, la planification communautaire est un mécanisme clé qui permet aux intervenants de la Colombie-Britannique de tenir compte et d'intégrer les effets du changement climatique. La planification est orientée par la *Loi sur les municipalités (BC Municipal Act)* et par d'autres mesures politiques, dont les plans communautaires officiels (Official Community Plans), le zonage local, les codes du bâtiment et les réserves de terres agricoles provinciales. Pour l'instant, peu de procédures, politiques et organismes de prise de décision tiennent explicitement compte des répercussions possibles du changement climatique. Les districts de planification régionale, les districts de gestion des eaux et autres « districts d'amélioration » sont des instances intermédiaires en Colombie-Britannique qui joueront un rôle de premier plan lorsqu'il s'agira de se préparer à certains des impacts prévus du changement

climatique et de les gérer (Jakob *et al.*, 2003), par exemple pour l'approvisionnement en eau et la gestion des eaux pluviales (*voir* la section 4.4; Burton *et al.*, 2005).

À l'échelle provinciale, le gouvernement de la Colombie-Britannique a publié un rapport intitulé *Weather, Climate and the Future : BC's Plan* (BC Ministry of Environment, 2004) qui porte sur l'atténuation des gaz à effet de serre et sur les initiatives d'adaptation. Le ministère des Forêts et des Pâturages de la Colombie-Britannique a lui aussi adopté une démarche proactive qui intègre les questions de changement climatique dans les processus de planification régionale et de planification des ressources à long et à moyens termes (*voir* la section 4.2.2; BC Ministry of Forests and Range, 2006). Le ministère responsable des services communautaires, qui subventionne des projets d'infrastructure au sein de la communauté, tient maintenant compte de plus en plus du changement climatique lorsqu'il examine des propositions soumises par les instances locales (B. Kangasniemi, BC Ministry of Environment, communication personnelle, 2007).

Enfin, il existe des différences frappantes entre les collectivités rurales et urbaines de la Colombie-Britannique en termes de politiques locales, de croissance, de questions de planification et d'attitudes sociales. Les répercussions du changement climatique et les questions d'adaptation doivent être considérées comme des préoccupations locales pertinentes dans le cadre des responsabilités communautaires de gestion du risque et de planification. Des problèmes comme la gestion de l'eau dans le bassin de l'Okanagan, l'élévation du niveau de la mer dans les collectivités côtières et les ravages du dendroctone du pin ponderosa dans les collectivités forestières de l'intérieur de la Colombie-Britannique servent à montrer comment la province subit les répercussions du changement climatique et comment elle compte s'engager sur la voie de l'adaptation. Bien qu'il soit relativement rare qu'on tienne explicitement compte du changement climatique, ces études de cas offrent des perspectives sur les étapes entreprises en vue de s'adapter à divers stress sociaux, économiques et environnementaux.

4.1 COLLECTIVITÉS CÔTIÈRES : VULNÉRABILITÉS ET ADAPTATION À L'ÉLÉVATION DU NIVEAU DE LA MER

Le changement climatique a divers impacts sur les collectivités côtières de la Colombie-Britannique : l'effet graduel de l'élévation accélérée du niveau de la mer et les répercussions plus immédiates de phénomènes extrêmes, notamment une augmentation des inondations dues aux ondes de tempête, l'accélération de l'érosion des côtes, la contamination des aquifères côtiers et autres changements écologiques. Ces phénomènes biophysiques risquent d'entraîner des pertes de terrain, des dommages aux infrastructures côtières, des modifications des ressources côtières et une perturbation des valeurs sociales, culturelles et économiques qui les accompagnent (Klein et Nicholls, 1999). Les répercussions du changement climatique ne sont pas, et ne seront pas, également réparties entre les collectivités côtières, qui se distinguent les unes des autres par des niveaux différents d'exposition et de vulnérabilité (Clark *et al.*, 1998; Dolan et Walker, 2007). En outre, les phènoménes se superposent à des problèmes d'ordre non climatique, dont les revendications territoriales des Premières nations, le déclin ou l'effondrement d'importantes industries axées sur les ressources naturelles, la restructuration économique et la perte ou la réduction des services gouvernementaux et de soutien social (Ommer, 2007; Sydneysmith *et al.*, 2007).

Une évaluation pancanadienne des répercussions de l'élévation du niveau de la mer (Shaw *et al.*, 1998) définit la sensibilité des côtes comme étant le degré à partir duquel l'élévation du niveau de la mer déclenchera ou accélérera des modifications physiques de la côte. La plupart des côtes de la Colombie-Britannique étant escarpées et rocheuses, leur sensibilité est faible à modérée, à l'exception de la côte nord-est de l'île Graham, de Haïda Gwaii (îles de la Reine-Charlotte) et de la région du banc Roberts-delta du Fraser, dans le District régional du Grand Vancouver. Ces régions figurent parmi celles du Canada dont les littoraux sont les plus sensibles au changement climatique. Toutefois, cette analyse de la sensibilité ne détermine pas complètement la vulnérabilité au changement climatique, puisqu'elle ne fait pas intervenir la capacité d'adaptation (*voir* Luitzen *et al.*, 1992; Smit *et al.*, 2001); cette dernière est déterminée par le cadre socioéconomique (accès aux ressources économiques, capital politique et social, et politiques de planification côtière) et par l'expérience régionale des dangers environnementaux et des perturbations socioéconomiques (Dolan et Walker, 2007). Les deux cas présentés ci-dessous concernent des collectivités qui doivent faire face à des répercussions physiques semblables, mais dans des cadres socioéconomiques très différents. Ces études traitent de leurs principales vulnérabilités, de leur capacité d'adaptation et des étapes entreprises vers l'adaptation.

4.1.1 Nord-est de l'île Graham, Haïda Gwaii (îles de la Reine-Charlotte)

L'île Graham est l'île la plus grande et la plus septentrionale de l'archipel de la Reine-Charlotte (Haïda Gwaii). Le niveau relatif de la mer s'y élève présentement à raison de 1,6 mm par an et les niveaux annuels extrêmes de la mer atteignent 3,4 mm (Abeysirigunawardena et Walker, sous presse). Les rives du nord-est de l'île Graham sont surtout composées de dunes, très sujettes à l'érosion, et de loess. Cette caractéristique, combinée à de hautes marées, à un fort régime de vagues, à de fréquentes ondes de tempête et à des vents violents, crée un littoral très dynamique dont les plages changent sans cesse (Walker et Barrie, 2006). Les tendances du niveau de l'eau et de l'érosion côtière sont fortement influencées par l'ENSO et le PDO (*voir* la section 2.1; Storlazzi *et al.*, 2000; Dingler et Reiss, 2001; Allan et Komar, 2002). Lors de l'épisode El Niño de 1997-1998, le niveau de la mer a monté de 0,4 m et entraîné une érosion locale de 12 m le long de cette côte (Barrie et Conway, 2002). Les niveaux d'eau extrêmes ont beaucoup monté depuis que le PDO est entré dans une phase positive en 1976 (Abeysirigunawardena et Walker, sous presse).

Le changement climatique n'est qu'un des nombreux stress qui agissent sur les collectivités d'Haïda Gwaii. Le secteur forestier local a connu une grande instabilité des marchés internationaux du bois d'œuvre, une augmentation des coûts d'accès et des changements dans la technologie, la gestion et la protection des forêts qui ont entraîné un ralentissement des activités de transformation et une baisse de l'emploi sur l'île. Dans le secteur local de la pêche, on a assisté à une modification des populations de saumon, de hareng et de palourde, et à une diminution des privilèges de pêche. En outre,

la fermeture de la base des Forces canadiennes de Masset a provoqué le départ de centaines de personnes, entraînant d'autres pertes d'emploi et une restructuration socio-économique.

Capacité d'adaptation

Dolan et Walker (2007) ont présenté un cadre intégré de recherche environnementale et humaine en vue d'évaluer les risques liés au changement climatique et les vulnérabilités des collectivités du nord-est de l'île Graham à cet égard. D'autres recherches menées par Walker *et al.* (2007) ont tenté d'évaluer les tendances du changement climatique, ses répercussions et la sensibilité des collectivités à ce phénomène (Walker et Barrie, 2007; Walker *et al.*, 2007; Abeysirigunawardena et Walker, sous presse). Elles ont aussi tenté d'évaluer la situation socioculturelle au moyen d'une « méthode participative » mise au point par Conner (2005) et faisant appel aux connaissances, aux perceptions et aux expériences locales afin de définir les attributs de la capacité d'adaptation et de découvrir les principales vulnérabilités. Les résultats de cette dernière évaluation démontrent qu'il existe de nombreux attributs susceptibles de renforcer la capacité d'adaptation (*voir* le tableau 9), comme la richesse, qui peuvent ne pas être immédiatement rendus par les attributs typiques de la vulnérabilité (*voir* le tableau 9). À Haida Gwaii, une forte dépendance historique des emplois à l'égard des ressources naturelles, un revenu familial inférieur à la moyenne, un taux de chômage élevé et l'instabilité du revenu semblent indiquer une grande vulnérabilité et une faible capacité d'adaptation. Toutefois, au niveau des ménages, la résilience socioéconomique est accrue par la diversification du revenu (emplois multiples, art et artisanat, tourisme) et par la cueillette et la mise en réserve d'aliments. Tout donne à penser que la capacité d'adaptation aux risques du changement climatique est plus grande qu'on ne pourrait le déduire à partir des seules statistiques sur le revenu et le niveau d'emploi.

L'accès à la technologie, à l'information et aux compétences, aux infrastructures et aux services essentiels est un autre facteur à caractère communautaire de la capacité d'adaptation (Goklany, 1995; Barnett, 2001). La plupart des infrastructures et des services de transport essentiels d'Haida Gwaii sont très vulnérables aux dommages causés par les tempêtes sur la côte. Les pannes d'électricité, les interruptions du service de traversier et aérien, les pénuries à court terme d'articles d'épicerie et de fournitures, les fermetures occasionnelles des grandes routes ainsi que les dommages causés par le vent ne sont pas rares. Haïda Gwaiia bénéficie de la plupart des services de communication, y compris l'Internet à haute vitesse et les services de téléphone cellulaire. La télévision locale, les dépliants et les journaux locaux véhiculent les messages communautaires. L'île a élaboré un plan d'évacuation en cas de tsunami, qui est cependant peu connu malgré les protocoles établis et les essais. La reconnaissance du besoin de s'adapter, la connaissance des options offertes, la capacité de les évaluer et l'aptitude à mettre en œuvre les options les plus appropriées dépendent toutes de la disponibilité de renseignements crédibles et de compétences appropriées (Fankhauser et Tol, 1997).

La perception du risque, la sensibilisation et la préparation sont également des attributs de la capacité d'adaptation (Burton *et al.*, 1978; Barnett, 2001; Smit *et al.*, 2001; Dolan et Walker, 2006). La perception du risque dépend des connaissances et de l'expérience passée des mêmes dangers, de sorte que d'une plus grande expérience et de plus grandes connaissances découle une plus grande sensibilisation (Hutton et Haque, 2004; Degg et Homan, 2005). Même si le niveau de scolarité est généralement bas à Haïda Gwaii, un haut niveau d'éducation acquis au quotidien, une connaissance locale et traditionnelle du milieu et des compétences diversifiées adaptées au milieu (p.ex., chasse, cueillette, expérience des randonnées en arrière-pays) font que les gens sont plus conscients des risques et mieux préparés à faire face aux dangers

TABLEAU 9 : Attributs locaux de la vulnérabilité et de la capacité d'adaptation aux répercussions du changement climatique à Haïda Gwaii (*extrait modifié tiré de* Walker *et al.*, 2007).

Facteurs qui contribuent à la vulnérabilité[1]	Facteurs qui contribuent à la capacité d'adaptation[2]
• Isolement géographique • Exposition élevée aux dangers de la variabilité climatique et de l'élévation du niveau de la mer	• Grand attachement à Haïda Gwaii • Communion avec la nature • Mentalité pionnière • Expérience antérieure de changements et dangers environnementaux
• Faible niveau de scolarité (*voir* Holman et Nicol, 2001)	• Haut niveau d'éducation acquis au quotidien, connaissances locales, connaissances écologiques traditionnelles • Culture Haïda et redécouverte de cette culture • Compétences diverses (chasse, cueillette, etc.)
• Services essentiels restreints (soins de santé, services sociaux, éducation) • Répercussions sur la santé des descendants (alcoolisme, mauvais traitements, apathie)	• Forte cohésion communautaire et réseaux de soutien (p. ex., liens familiaux, groupes bénévoles) • Augmentation du bénévolat et de l'engagement au niveau local pour la prestation de services essentiels (p. ex., abris pour femmes, programmes de santé communautaire)
• Méconnaissance des plans d'urgence	• Protocoles d'évacuation en place mis à l'essai • Augmentation de la communication entre les collectivités
• Pannes d'électricité fréquentes • Pénuries alimentaires à court terme	• Grande capacité de faire face aux pannes d'électricité • Chasse et cueillette sur place • Conservation et stockage des aliments
• Taux élevé de chômage • Dépendance vis-à-vis d'un secteur de ressources naturelles instable • Faible stabilité économique à long terme	• Diversification du revenu familial/subventions (emplois multiples, arts, cueillette, tourisme) • Emplois saisonniers (pêche/cueillette de crabes, champignons, tourisme/voyages organisés) • Résilience accrue face aux difficultés économiques
• Absence de plans officiels de gestion de l'utilisation ou des ressources des sols[3]	• Élaboration en cours de plans intégrés de gestion de l'utilisation des sols qui tiennent compte de la vision Haïda et des valeurs des résidents
• Tensions politiques fédérales, régionales et locales	• Participation locale croissante et influence des Haïda dans le processus décisionnel

[1] Tels que définis dans le bagage de connaissances actuel (*voir* le chapitre 2).

[2] Tels que cités dans Conner (2005).

[3] En janvier 2006, un plan de recommandations a été transmis au BC Integrated Land Management Bureau (<http://ilmbwww.gov.bc.ca/lup/lrmp/coast/qci/>, [consultation : 20 août 2007]; en novembre 2006, il n'y avait toujours pas de plan officiel.

la fermeture de la base des Forces canadiennes de Masset a provoqué le départ de centaines de personnes, entraînant d'autres pertes d'emploi et une restructuration socio-économique.

Capacité d'adaptation

Dolan et Walker (2007) ont présenté un cadre intégré de recherche environnementale et humaine en vue d'évaluer les risques liés au changement climatique et les vulnérabilités des collectivités du nord-est de l'île Graham à cet égard. D'autres recherches menées par Walker *et al.* (2007) ont tenté d'évaluer les tendances du changement climatique, ses répercussions et la sensibilité des collectivités à ce phénomène (Walker et Barrie, 2007; Walker *et al.*, 2007; Abeysirigunawardena et Walker, sous presse). Elles ont aussi tenté d'évaluer la situation socioculturelle au moyen d'une « méthode participative » mise au point par Conner (2005) et faisant appel aux connaissances, aux perceptions et aux expériences locales afin de définir les attributs de la capacité d'adaptation et de découvrir les principales vulnérabilités. Les résultats de cette dernière évaluation démontrent qu'il existe de nombreux attributs susceptibles de renforcer la capacité d'adaptation (*voir* le tableau 9), comme la richesse, qui peuvent ne pas être immédiatement rendus par les attributs typiques de la vulnérabilité (*voir* le tableau 9). À Haida Gwaii, une forte dépendance historique des emplois à l'égard des ressources naturelles, un revenu familial inférieur à la moyenne, un taux de chômage élevé et l'instabilité du revenu semblent indiquer une grande vulnérabilité et une faible capacité d'adaptation. Toutefois, au niveau des ménages, la résilience socioéconomique est accrue par la diversification du revenu (emplois multiples, art et artisanat, tourisme) et par la cueillette et la mise en réserve d'aliments. Tout donne à penser que la capacité d'adaptation aux risques du changement climatique est plus grande qu'on ne pourrait le déduire à partir des seules statistiques sur le revenu et le niveau d'emploi.

L'accès à la technologie, à l'information et aux compétences, aux infrastructures et aux services essentiels est un autre facteur à caractère communautaire de la capacité d'adaptation (Goklany, 1995; Barnett, 2001). La plupart des infrastructures et des services de transport essentiels d'Haida Gwaii sont très vulnérables aux dommages causés par les tempêtes sur la côte. Les pannes d'électricité, les interruptions du service de traversier et aérien, les pénuries à court terme d'articles d'épicerie et de fournitures, les fermetures occasionnelles des grandes routes ainsi que les dommages causés par le vent ne sont pas rares. Haida Gwaii a bénéficié de la plupart des services de communication, y compris l'Internet à haute vitesse et les services de téléphone cellulaire. La télévision locale, les dépliants et les journaux locaux véhiculent les messages communautaires. L'île a élaboré un plan d'évacuation en cas de tsunami, qui est cependant peu connu malgré les protocoles établis et les essais. La reconnaissance du besoin de s'adapter, la connaissance des options offertes, la capacité de les évaluer et l'aptitude à mettre en œuvre les options les plus appropriées dépendent toutes de la disponibilité de renseignements crédibles et de compétences appropriées (Dankhauser et Tol, 1997).

La perception du risque, la sensibilisation et la préparation sont également des attributs de la capacité d'adaptation (Burton *et al.*, 1978; Barnett, 2001; Smit *et al.*, 2001; Dolan et Walker, 2006). La perception du risque dépend des connaissances et de l'expérience passée des mêmes dangers, de sorte que d'une plus grande expérience et de plus grandes connaissances découle une plus grande sensibilisation (Hutton et Haque, 2004; Degg et Homan, 2005). Même si le niveau de scolarité est généralement bas à Haida Gwaii, un haut niveau d'éducation acquis au quotidien, une connaissance locale et traditionnelle du milieu et des compétences diversifiées adaptées au milieu (p. ex., chasse, cueillette, expérience des randonnées en arrière-pays) font que les gens sont plus conscients des risques et mieux préparés à faire face aux dangers.

TABLEAU 9 : Attributs locaux de la vulnérabilité et de la capacité d'adaptation aux répercussions du changement climatique à Haida Gwaii (*extrait modifié tiré de* Walker *et al.*, 2007).

Facteurs qui contribuent à la vulnérabilité[1]	Facteurs qui contribuent à la capacité d'adaptation[2]
• Isolement géographique	• Grand attachement à Haida Gwaii
• Exposition élevée aux dangers de la variabilité climatique et de l'élévation du niveau de la mer	• Communion avec la nature • Mentalité pionnière • Expérience antérieure de changements et dangers environnementaux
• Faible niveau de scolarité (*voir* Holman et Nicol, 2001)	• Haut niveau d'éducation acquis au quotidien, connaissances locales, connaissances écologiques traditionnelles • Culture Haida et redécouverte de cette culture • Compétences diverses (chasse, cueillette, etc.)
• Services essentiels restreints (soins de santé, services sociaux, éducation)	• Forte cohésion communautaire et réseaux de soutien (p. ex., liens familiaux, groupes bénévoles)
• Répercussions sur la santé des descendants (alcoolisme, mauvais traitements, apathie)	• Augmentation du bénévolat et de l'engagement au niveau local pour la prestation de services essentiels (p. ex., abris pour femmes, programmes de santé communautaire)
• Méconnaissance des plans d'urgence	• Protocoles d'évacuation en place mis à l'essai • Augmentation de la communication entre les collectivités
• Pannes d'électricité fréquentes	• Grande capacité de faire face aux pannes d'électricité
• Pénuries alimentaires à court terme	• Chasse et cueillette sur place • Conservation et stockage des aliments
• Taux élevé de chômage • Dépendance vis-à-vis d'un secteur de ressources naturelles instable • Faible stabilité économique à long terme	• Diversification du revenu familial subventions (emplois multiples, arts, cueillette, tourisme) • Emplois saisonniers (pêche, cueillette de crabes, champignons, tourisme, voyages organisés) • Résilience accrue face aux difficultés économiques
• Absence de plans officiels de gestion de l'utilisation ou des ressources des sols[3]	• Élaboration en cours de plans intégrés de gestion de l'utilisation des sols qui tiennent compte de la vision Haida et des valeurs des résidents
• Tensions politiques fédérales, régionales et locales	• Participation locale croissante et influence des Haïdas dans le processus décisionnel

[1] Tel que défini dans le cadre de vulnérabilité actuel (voir le chapitre 2).
[2] Tels que cités dans Conner (2005).
[3] En janvier 2008, un plan de recommandations a été terminé au B.C. Integrated Land Management Bureau (http://ilmbwww.gov.bc.ca/lup/lmp/qcs/status.htm). Toutefois, en février 2008, et novembre 2008, il n'y avait toujours pas de plan officiel.

naturels. Toutefois, bon nombre de résidents n'associent pas de risque au changement climatique à plus long terme comme tel, comparativement aux risques associés à des phénomènes extrêmes comme les tempêtes, l'érosion des côtes ou un tsunami.

Le capital social, soit les relations, les réseaux et les infrastructures qui soutiennent la transmission du savoir et des compétences concernant des valeurs, des objectifs et une action collective communs (Coleman, 1988; Tobin, 1999), est un autre élément clé important de la capacité d'adaptation. Les collectivités qui jouissent d'un grand capital social peuvent faire face plus efficacement aux dangers et aux répercussions du changement climatique (Buckland et Rahman, 1999). À Haïda Gwaii, la grande cohésion au sein de la collectivité, les nombreux réseaux de soutien, l'activisme communautaire et la participation accrue dans les services communautaires sont des indications que cette collectivité jouit d'un bon capital social.

Les institutions et la gouvernance agissent également sur la capacité d'adaptation. Des conflits de longue date entre les groupes communautaires et les paliers de gouvernement à propos de la foresterie et de la pêche, de la prestation de services et de l'intervention locale dans la prise de décisions ont créé un climat socio-politique complexe à Haïda Gwaii. Les longues négociations entre les groupes communautaires, la nation Haïda et le gouvernement de la Colombie-Britannique n'ont pas encore débouché sur un plan de gestion des ressources terrestres (Land Resource Management Plan) pour Haïda Gwaii (Haida Gwaii-Queen Charlotte Islands Land Use Planning Process Team, 2006). Il sera impératif de disposer d'un tel plan pour orienter le processus de planification à Haïda Gwaii; cependant, des questions liées au changement climatique, comme les marges de reculement sur les côtes et les limites imposées aux projets de mise en valeur des côtes soumises à l'érosion, ne figurent pas dans le rapport des recommandations actuellement en place.

Répercussions et adaptation

Les répercussions prévues du changement climatique sont, entre autres, l'augmentation de l'érosion des côtes, des dommages et des inondations attribuables aux ondes de tempête et de la fréquence des perturbations des services essentiels de transport, la perte probable de sections côtières de la route 16, la hausse des coûts d'entretien des infrastructures, une modification des habitats côtiers et de l'abondance des espèces (crabe, palourde), qui aura une incidence sur la pêche tant commerciale que sportive, et des modifications de la forme et de l'écologie de la flèche Rose, une réserve écologique et un site religieux des Haïdas.

Certaines mesures d'adaptation proposées par Walker *et al.* (2007) mettent en valeur les avantages que présentent les collectivités ainsi que leurs vulnérabilités particulières. La planification de l'adaptation s'impose si l'on veut réduire le degré de vulnérabilité des infrastructures essentielles exposées, dont les routes côtières, les édifices et les aéroports situés en terrain bas, les lignes de transmission de l'électricité et des communications, de même que les services essentiels. Les premières interventions possibles sont entre autres de continuer à protéger les portions côtières vulnérables de la route 16 et d'améliorer les chemins forestiers en place afin de pouvoir disposer d'une autre route à l'intérieur des terres au besoin. Il reste à envisager des marges de reculement sur les côtes et un changement de zonage le long des côtes sujettes à l'érosion et aux inondations. Des projets de mise en valeur et de renouvellement économiques dans les secteurs du tourisme, des arts, de la culture et de la gestion des ressources continueront d'être des sources de diversification de l'économie locale et contribueront donc ainsi à l'amélioration de la résilience de la collectivité. La consolidation des forces culturelles, socio-économiques et politiques actuelles améliorera également la capacité générale d'adaptation des collectivités d'Haïda Gwaii à un changement climatique à plus long terme.

4.1.2 Banc Roberts, District régional du Grand Vancouver

Les platins du banc Roberts sont situés du côté du delta du Fraser qui fait face au large et en bordure de la corporation de Delta et de la réserve de la Première nation Tsawwassen. La corporation de Delta est une collectivité mixte urbaine et rurale qui fait partie du District régional du Grand Vancouver. Delta et la réserve Tsawwassen sont protégées des débordements du fleuve ou des ondes de tempête par des digues qui longent le fleuve et le rivage. Les platins constituent un important habitat pour les oiseaux et les poissons, et des milliers d'oiseaux aquatiques et de rivage ainsi que des mouettes les fréquentent (Vermeer *et al.*, 1994). D'immenses herbiers de zostère marine (*Zostera marina*) constituent un important habitat de fraye pour le hareng du Pacifique et nourrissent les saumoneaux quinnat et coho (Levings et Goda, 1991).

L'évaluation des répercussions de l'élévation du niveau de la mer et des tempêtes sur les platins du banc Roberts implique des interactions et des valeurs complexes chez les parties intéressées (Hill *et al.*, 2004). Deux importantes chaussées traversent la partie sud du banc Roberts : une structure de l'administration portuaire de Vancouver (Vancouver Port Authority) qui donne accès au terminal maritime de Delta Port et une structure qui dessert une importante gare maritime de la BC Ferries Corporation. Ces deux chaussées ont été construites dans les années 1950 sans qu'on ait vraiment consulté la collectivité, entraînant ainsi un mécontentement de même que des tensions qui perdurent. Des entrevues avec les intéressés ont permis de déterminer les principaux enjeux et positions en matière de gestion des terres et des ressources sur le banc Roberts. Ces renseignements ont servi à concevoir un atelier de discussion sur les problèmes possibles liés au changement climatique, atelier au sein duquel on a su faire abstraction des différends du passé. Parmi les principales préoccupations qui y ont été soulevées, on compte l'intégrité des infrastructures (digues, chaussées et installations portuaires), l'augmentation du risque d'inondation, la perte d'eau douce aux fins d'irrigation en été et la perte d'habitats du poisson et des oiseaux.

Répercussions et adaptation

Le tableau 10 résume les principales répercussions biophysiques de l'élévation du niveau de la mer sur le platin (Hill, sous presse). On prévoit que l'élévation relative nette du niveau de la mer au banc Roberts pourrait atteindre 0,23 à 1,02 m d'ici à 2100, d'après les projections du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2001), l'élévation du niveau marin à l'échelle planétaire, le taux passé d'élévation relative du niveau de la mer selon les données marégraphiques et les nouvelles données sur la subsidence du sol; dans la région de Delta, cette dernière contribue en effet à cette élévation relative pour 0,2 à 0,3 m (Mazzotti *et al.*, 2006).

Les platins se caractérisent par diverses zones écologiques abritant des habitats distincts. Ces zones tendent à migrer vers l'intérieur des terres en réaction à l'élévation du niveau de la mer. Toutefois, la présence de digues prévient la migration naturelle du littoral consécutive à l'élévation du niveau de la mer, ce qui a pour effet de contraindre ces zones contre les digues (Clague et Bornhold, 1980; Hughes, 2004). À mesure que le niveau de la mer monte, les vagues, pour le moment ralenties par le frottement sur les hauts-fonds du delta, prendront plus de force et transporteront donc plus de sédiments, accentuant ainsi le danger d'érosion des marais. Une augmentation de la fréquence des violentes tempêtes amplifiera considérablement ce phénomène. Bien que des incertitudes persistent quant à l'accrétion des marais et aux taux futurs de transport des sédiments, on s'attend à ce que la superficie de vasières diminue beaucoup au cours du prochain siècle. Ces changements auront probablement des répercussions défavorables sur certains peuplements d'oiseaux (Hill, sous presse), car les marais et les vasières sont des habitats essentiels pour l'alimentation d'oiseaux migrateurs, comme le bécasseau d'Alaska (Elner *et al.*, 2005). L'élévation du niveau de la mer et le stress lié à la mise en valeur du territoire favoriseront probablement la propagation des herbiers de zostère marine, jusqu'à ce qu'ils constituent un habitat qui convienne aux poissons et aux espèces d'oiseaux qui s'en nourrissent, comme le héron.

L'étude du banc Roberts (Hill, sous presse) a eu pour résultat immédiat, comme le disait le maire de la corporation de Delta, de faire du changement climatique et de ses répercussions sur Delta une priorité pour les trois prochaines années. Un sondage mené auprès de représentants municipaux, dont des scientifiques, des urbanistes et des ingénieurs, a révélé qu'on se préoccupe beaucoup des impacts du changement climatique, en particulier en ce qui concerne la protection des infrastructures essentielles et du milieu naturel contre l'élévation du niveau de la mer et les ondes de tempête. À Delta, on tient maintenant compte des répercussions de l'élévation du niveau marin dans la réévaluation de la conception de digues, ainsi qu'aux fins d'élaboration d'un plan de gestion de l'adaptation pour le projet d'expansion de DeltaPort. Un ensemble préliminaire d'indicateurs des impacts du changement climatique (Gregory *et al.*, 2006), comprenant des indicateurs biophysiques (p. ex., érosion du littoral, sédimentation), écologiques (p. ex., zones d'habitat essentiel), socioéconomiques (p. ex., revenu agricole), d'infrastructure (p. ex., intégrité des digues) et culturels (p. ex., zones d'utilisations traditionnelles du territoire), fournira les éléments de base utiles au processus de planification de l'adaptation dans l'avenir.

4.1.3 Résumé et leçons apprises

L'étude d'Haïda Gwaii a mis en lumière des caractéristiques propres aux collectivités côtières éloignées qui font face au changement climatique et à l'élévation du niveau de la mer. Les résultats de cette étude révèlent que :

- Nombre de collectivités éloignées et de leurs résidents possèdent des attributs socioculturels et socioéconomiques de résilience

TABLEAU 10 : Résumé des répercussions biophysiques de l'élévation relative du niveau de la mer sur le banc Roberts (*tiré de* Hill, sous presse).

Élément	Effet	Impact	Niveau de confiance
Élévation planétaire du niveau de la mer	0,08 m à 0,88 m d'ici à 2100 (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001)		Élevé
Subsidence des terres	2 à 3 mm/an dans le delta du Fraser		Élevé
Niveau relatif net de la mer	Valeurs médianes pour une subsidence de 2 mm/an : 2030 : 0,17 m 2050 : 0,27 m 2100 : 0,62 m		Élevé
Fréquence du débordement du fleuve	Les périodes de récurrence des inondations diminueront en raison de l'élévation du niveau de base de la mer, ce qui augmentera le risque	Négatif	Élevé
Marais	Érosion des marais due à la constriction des côtes et à l'augmentation de l'attaque des vagues; atténuée par l'accrétion naturelle des marais jusqu'à un taux seuil	Négatif	• Modéré relativement au stress que subiront les marais • Confiance faible à modérée qu'il n'y aura pas beaucoup de changements d'ici à 2050 • Confiance faible à modérée que la dégradation des marais s'accélérera après 2050
Vasière	Réduction prévue de 45 p.100 à 63 p. 100 dans la région due à la constriction des côtes; atténuée par une certaine sédimentation dans la zone du marais actuel; peut être aggravée par l'augmentation des tempêtes et de l'action des vagues	Négatif	Faible
Zostère	Le fort taux d'expansion actuel semble indiquer que la zostère migrera vers les terres à mesure que la profondeur de l'eau changera	Aucun	Modéré à élevé
Biofilm	La superficie diminuera probablement avec la réduction de la vasière; l'augmentation de l'énergie des vagues pourrait rendre les sédiments plus grossiers et en réduire la production	Négatif	Faible
Prédation par les oiseaux de rivage	Augmentera probablement en raison de la migration vers les terres des aires d'alimentation optimales, jusque sur le territoire des rapaces prédateurs (Butler, 1999)	Négatif	Faible

susceptibles d'accroître leur capacité d'adaptation aux risques découlant du changement climatique dans un milieu par ailleurs exposé.

- Les réactions de la collectivité aux changements sociaux, culturels et économiques du passé sont des indications clés des éléments de capacité d'adaptation dont cette dernière dispose pour faire face au changement climatique (p. ex., capital social, cohésion sociale au sein de la collectivité).
- Malgré les résiliences intrinsèques des collectivités, la capacité d'adaptation aux impacts à long terme est menacée par : 1) l'exposition directe à l'élévation du niveau de la mer et aux tempêtes côtières; 2) la dépendance à l'égard d'infrastructures essentielles vulnérables et de services essentiels limités; 3) les limites des ressources économiques disponibles pour faire face à des répercussions continuelles et croissantes; 4) les lacunes en matière de plans d'aménagement du territoire qui ne tiennent généralement pas compte du changement climatique.

Pour la situation complexe et urbanisée que représente l'étude du banc Roberts, les résultats ont révélé que :

- Le processus d'intervention des parties intéressées doit être conçu de manière à apaiser les conflits préexistants et permettre de cibler les discussions sur les questions de changement climatique.
- Il faudrait adopter une démarche de type analytique-délibérative, c'est-à-dire un processus selon lequel une analyse technique éclairerait les discussions engagées en vue de permettre une meilleure compréhension des risques à l'échelle planétaire (Committee on Protection and Management of Pacific Northwest Anadromous Salmanoids, 1996); le tout devrait fournir un mécanisme grâce auquel les intervenants seraient en mesure de faire leurs premiers pas vers l'adaptation. Cette procédure, de nature itérative, permettrait aux experts techniques et aux parties intéressées d'en arriver à une compréhension commune des principales vulnérabilités et options d'adaptation.
- Dans les milieux côtiers touchés par de nombreuses interventions humaines, le changement climatique se superpose à toute une gamme d'autres changements biophysiques. C'est pourquoi il faudrait évaluer les répercussions du changement climatique dans le cadre d'un ensemble plus large d'impacts environnementaux cumulatifs se manifestant à un endroit donné.

Certains résultats de ces études s'appliquent également à d'autres collectivités côtières canadiennes, entre autres :

- Le changement climatique n'est qu'un des nombreux risques, changements et défis auxquels sont confrontées les collectivités côtières, ce qui constitue une raison de plus de vouloir comprendre comment ces collectivités ont réagi dans le passé (p. ex., restructuration sociale et économique, mesures visant l'aménagement et les infrastructures) afin de pouvoir planifier en prévision des changements à venir. Les interventions dans la zone côtière bénéficient de l'évaluation des répercussions cumulatives et de la planification en matière de gestion intégrée de la zone côtière. Les questions de compétence et les conflits du passé peuvent représenter des obstacles importants à la mise en œuvre d'une telle planification.
- La participation communautaire est essentielle pour obtenir, à l'échelle régionale, des résultats pertinents à la planification de l'adaptation. Il faut prévoir des horizons raisonnables de cinq à dix ans pour bien impliquer les intervenants de la collectivité et mettre en œuvre des mesures d'adaptation réalisables.
- L'horizon temporel nécessaire pour faire une planification communautaire qui tienne compte du changement climatique est long, comparativement à la plupart des processus de planification communautaire de la Colombie-Britannique. L'élévation du niveau de la mer sera d'abord lente, mais risque d'aller en s'accélérant avec le temps. Les risques associés au changement climatique (p. ex., érosion, contamination des eaux souterraines, inondations dues aux tempêtes, augmentation des coûts de transport et des infrastructures) sont insidieux et pourraient se manifester sporadiquement. Par conséquent, les collectivités doivent procéder à une analyse du risque plus complexe et faire face à un degré d'incertitude plus élevé lorsqu'elles s'engagent dans un processus de planification de l'utilisation des sols et des infrastructures. En outre, le processus d'adaptation évolue avec le temps, allant des toutes premières interventions et de la surveillance des indicateurs clés jusqu'à des stratégies de planification à plus long terme.

4.2 CENTRE ET NORD DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE : LES COLLECTIVITÉS FORESTIÈRES ET LE DENDROCTONE DU PIN PONDEROSA

Les collectivités et le paysage du centre et du nord de la Colombie-Britannique illustrent parfaitement le rôle historique du secteur forestier dans le développement de la province. La rencontre subite des anciennes pratiques de gestion forestière avec les conditions climatiques actuelles offrent un exemple frappant des répercussions de l'évolution du climat au Canada. La présente étude de cas se penche sur les causes et les conséquences de la prolifération actuelle du dendroctone du pin ponderosa, sur la façon qu'une collectivité qui dépend de l'exploitation des forêts s'interroge quant à sa propre vulnérabilité et, à l'occasion de la mise en place récente d'un projet du ministère provincial des Forêts et des Pâturages, sur la décision de ce dernier d'adopter une démarche proactive qui intègre les impacts du changement climatique et l'adaptation à ce dernier dans le processus de gestion et de planification à long terme des ressources forestières.

4.2.1 Le dendroctone du pin ponderosa

Le dendroctone du pin ponderosa (DPP) est un insecte indigène que l'on retrouve du nord du Mexique au centre de la Colombie-Britannique. Il se nourrit des tissus succulents situés sous l'écorce de la plupart des espèces de pin qui peuplent son habitat (Furniss et Schenk, 1969). Bien que le DPP soit habituellement inoffensif, il arrive que des explosions de ses populations tuent des millions d'arbres sur de grandes superficies (Taylor *et al.*, 2006).

Il y a eu plusieurs proliférations de DPP en Colombie-Britannique, au XX^{e} siècle; cependant, la superficie touchée par la plus récente est près de dix fois supérieure à toutes les précédentes. En 2007, des infestations de DPP ont ravagé plus de 9,2 millions d'hectares de forêts de pin (BC Ministry of Forests and Range, 2006). Deux grandes conditions doivent être réunies pour qu'une prolifération se

déclenche. Premièrement, il doit y avoir une abondance de gros pins matures. La suppression des incendies et des facteurs historiques ont fait en sorte que la Colombie-Britannique comptait trois fois plus de pins matures au début de l'infestation actuelle qu'il y a 100 ans (Taylor et Carroll, 2004). Deuxièmement, plusieurs années de conditions météorologiques favorables à la survie du dendroctone doivent se succéder, soit des étés chauds pour sa reproduction et des hivers doux qui permettent à la génération suivante de survivre (Safranyik et Carroll, 2006). Au cours des dernières décennies, le climat du centre de la Colombie-Britannique a été très propice à la survie de l'insecte, particulièrement en raison de l'absence de longues périodes froides en hiver (Carroll *et al.*, 2004). Cette situation a fait que l'on assiste aujourd'hui à la plus importante prolifération de dendroctone du pin ponderosa de son histoire.

En plus de l'ampleur sans précédent de la prolifération, l'insecte s'est propagé dans des habitats qui, auparavant, ne lui convenaient pas, en particulier vers le nord et l'est (Carroll *et al.*, 2004). Sa répartition actuelle n'est pas restreinte par l'accès à des arbres hôtes convenables, car les forêts de pin s'étendent vers le nord, jusque dans le Yukon et les Territoires-du-Nord-Ouest, et vers l'est, jusque dans la forêt boréale. Le potentiel de dispersion du dendroctone vers le nord et l'est a plutôt été limité par le climat (Safranyik *et al.*, 1975). Les modèles révèlent que des conditions climatiques favorables au DPP se sont récemment installées sur de grandes parties de l'Ouest canadien (*voir* la figure 10), phénomène qui fait croître de plus de 75 p.100 la superficie de l'habitat aux conditions climatiques optimales (Carroll *et al.*, 2004). Les scénarios de changement climatique décrits par Flato *et al.* (2000) semblent indiquer que les conditions favorables à la propagation du DPP vers l'est, dans l'Alberta, et vers le nord, dans la forêt boréale, vont se poursuivre.

Le taux sans précédent de mortalité des arbres lié à la prolifération en cours a des répercussions importantes sur l'hydrologie forestière (*voir* la figure 11; Hélie *et al.*, 2005). L'infestation actuelle et prévue du DPP en Colombie-Britannique tuera probablement assez d'arbres pour entraîner l'accroissement du taux d'exposition des sols aux précipitations et mènera à une augmentation de l'épaisseur du

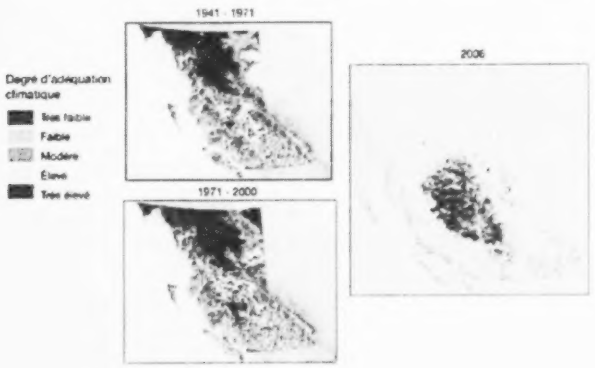


FIGURE 10 : Gauche : Répartitions passées des habitats de la Colombie-Britannique dont le climat convient au dendroctone du pin ponderosa (DPP; *extrait modifié tiré de* Carroll *et al.*, 2004). Les régions à aptitude « très basse » ne conviennent pas au DPP tandis que les régions à aptitude « très élevée » présentent des conditions climatiques optimales pour cet insecte. Droite : Superficie totale touchée en 2006 par la prolifération du dendroctone du pin ponderosa en Colombie-Britannique (Ressources naturelles Canada, 2007).

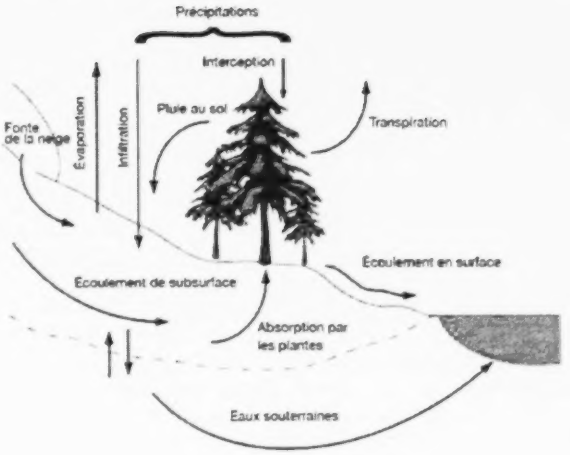


FIGURE 11 : Cycle hydrologique forestier (*extrait modifié tiré de* Hélie *et al.*, 2005).

couvert nival ainsi qu'à la fonte précoce de la neige, ce qui aggraverait le risque d'inondation. De telles modifications du cycle hydrologique pourraient expliquer les changements observés dans l'apport d'eau annuel, le débit de pointe et l'augmentation des débits de base et des débits minimaux dans les bassins touchés par le DPP (*voir* Cheng, 1989; Forest Practices Board of BC, 2007). Plus récemment, d'autres régions de la Colombie-Britannique ont signalé l'élévation du niveau des nappes phréatiques (p. ex., Vanderhoof Forest District) dans des régions touchées par la prolifération (BC Ministry of Forests, 2005). La ville de Prince George craint également une augmentation du risque d'inondation dans les parties basses de la ville en raison de la hausse prévue des niveaux d'eau de la rivière Nechako et du Fraser, en particulier pendant le ruissellement printanier (Dyer, 2006).

L'ampleur des répercussions hydrologiques d'une prolifération de DPP dépend de son étendue et de son emplacement au sein du bassin concerné, de même que de la géographie de ce dernier. Alors que ces répercussions s'atténueront à mesure que les régions touchées récupéreront, les débits pourraient rester élevés, quoique de moins en moins, pendant quelque 60 à 70 ans (Troendle et Nankervis, 2000). Certaines données semblent indiquer que la récolte des arbres infectés pourrait accélérer le moment où aurait lieu le rétablissement de l'hydrologie, comparativement à un scénario de la pire éventualité où la régénération se ferait de façon naturelle (Dobson Engineering Ltd, 2004). Une meilleure compréhension des répercussions du DPP et des activités de récolte connexes sur l'hydrologie des bassins versants forestiers en Colombie-Britannique est nécessaire afin d'aider à déterminer les taux appropriés d'intervention requis et de guider le choix en matière de mesures d'adaptation d'envergure plus vaste.

4.2.2 Vulnérabilité des collectivités forestières

Les implications des changements subis par les ressources forestières pour les résidents de Vanderhoof et de ses alentours dans le centre-nord de la Colombie-Britannique présentent un exemple des

difficultés que pourraient connaître les quelque 110 collectivités de la Colombie-Britannique qui dépendent du secteur forestier. Ces collectivités sont aux prises avec les mêmes répercussions générales du changement climatique que les autres collectivités de la Colombie-Britannique, mais aussi avec d'autres facteurs qui augmentent encore plus leur vulnérabilité. Premièrement, leur dépendance économique vis-à-vis de l'extraction et de la transformation des ressources forestières fait que l'économie locale est très sensible aux changements survenant dans la disponibilité des ressources en raison du climat (Davidson *et al.*, 2003). Cette exposition économique est amplifiée par le fait que le changement climatique pourrait provoquer une augmentation relative de l'approvisionnement en bois d'œuvre et produits forestiers provenant d'autres pays, de telle façon que l'industrie forestière de la Colombie-Britannique devra faire face à une concurrence plus intense (Perez-Garcia *et al.*, 2002; Sohngen et Sedjo, 2005). Deuxièmement, de nombreuses collectivités forestières sont relativement petites et éloignées, ont une économie non diversifiée et une main d'œuvre spécialisée, ce qui limite leur capacité de s'adapter au changement climatique. Troisièmement, comme on s'attend à ce que le nombre et l'intensité des feux de friche augmentent à la suite du changement climatique (Flannigan *et al.*, 2005), les collectivités forestières seront confrontées à un plus grand risque de perte de propriété, d'évacuation et de détérioration de la qualité de l'air consécutives aux incendies de forêt (Davidson *et al.*, 2003). Quatrièmement, les investissements dans l'aménagement forestier et les installations de transformation de grande envergure des produits forestiers sont des investissements à long terme qu'il est difficile d'annuler. Les décideurs en cette matière doivent composer avec de longues périodes d'investissement, un niveau de risque dynamique et un degré d'incertitude croissant sans cesse en fonction de la longueur des périodes de prévision (Davidson *et al.*, 2003). Cette situation rappelle l'importance de la gestion du risque dans le secteur forestier et les collectivités forestières en tant que mesure d'adaptation au changement climatique (Ohlson *et al.*, 2005).

Vanderhoof compte 4 400 habitants et de forts liens économiques et sociaux avec le territoire forestier environnant. Le secteur forestier constitue environ 63 p.100 de la base économique de la collectivité. L'effet le plus immédiat du changement climatique sur Vanderhoof est l'infestation de dendroctone du pin ponderosa qui a, et qui continuera d'avoir, des répercussions importantes sur ses ressources et sur la fabrication locale de produits forestiers. Avant la flambée de DPP, le district forestier de Vanderhoof bénéficiait d'un taux de récolte autorisé d'environ deux millions de mètres cubes par année, alors que la cible annuelle actuelle est de 6,5 millions de mètres cubes (Pederson, 2004). Cette augmentation vise à récupérer les arbres tués par le DPP. Une fois que le dendroctone aura disparu (c'est-à-dire dans une dizaine d'années), le taux d'exploitation annuel devrait se situer à entre 1,25 et 1,75 million de mètres cubes (Pederson, 2004). L'économie de Vanderhoof connaîtra donc d'importantes fluctuations sur une courte période de temps. Le défi que Vanderhoof aura à relever sera de gérer cette transition en faisant en sorte que les réductions du capital naturel causées par le dendroctone soient compensées par des augmentations dans d'autres formes de capital utilisable (capital de fabrication humaine, nouvelle forêt ou autres utilisations des sols) afin de maintenir la viabilité économique à long terme de la région (*voir* Pezzy, 1989; Solow, 1991).

Les résidents de Vanderhoof sont également très attachés, sur les plans culturel et psychologique, au paysage forestier environnant et s'inquiètent énormément des répercussions à long terme des changements environnementaux sur la collectivité et les générations à venir (Frenkel, 2005). Le Service canadien des forêts tente présentement de mettre au point des méthodes pour simuler les effets à long terme du changement climatique sur les forêts à une échelle plus pertinente pour ces collectivités. Ces méthodes ont été appliquées à une zone d'étude de 40 000 km^2 autour de Vanderhoof afin de simuler, à l'aide de deux scénarios climatiques différents, la répartition future des types de couverts forestiers en 2100 (*voir* le tableau 11 et la figure 12). Les deux simulations révèlent des changements importants dans la composition des forêts et fournissent des indications d'ordre général sur les changements qui pourraient survenir au cours des 100 prochaines années. Les répercussions à long terme du changement climatique en termes de nature et d'ampleur des effets sur l'écosystème forestier ne sont pas nécessairement catastrophiques. Même si la composition de la forêt se modifie, le couvert forestier continuera d'exister, quel que soit le scénario climatique pris en considération.

L'étude de cas de Vanderhoof souligne qu'il faut disposer d'informations sur l'ampleur et le choix du moment des répercussions à une échelle pertinente à l'endroit en question pour faciliter l'évaluation de l'adaptation. L'expérience de Vanderhoof révèle également que l'objectif de gérer de façon durable une ressource unique peut être difficile à atteindre à l'échelle de la collectivité. En fait, la réduction d'une forme de capital, dans le cas présent, la forêt, pourrait devoir être compensée par l'augmentation d'autres formes de capital, comme la conversion d'un territoire en terres agricoles ou l'investissement dans de nouvelles industries.

TABLEAU 11 : Superficie approximative de chaque type de végétation simulée, en pourcentage de la superficie totale de la zone d'étude Vanderhoof, en Colombie-Britannique (*Source* : D. Price, Ressources naturelles Canada).

Type de végétation ou de forêt	Actuellement (vers 2000)	HadCM3-B2 (vers 2100)	CSIRO2-A2 (vers 2100)
Résineux de région tempérée	46	24	6
Feuillus de région tempérée	<1	0	10
Résineux de forêt boréale	54	75	26
Feuillus de forêt boréale	0	0	14
Forêt mixte de région tempérée	<1	1	33
Forêt boréale mixte	0	0	11
Conifères et prairie	0	<1	0

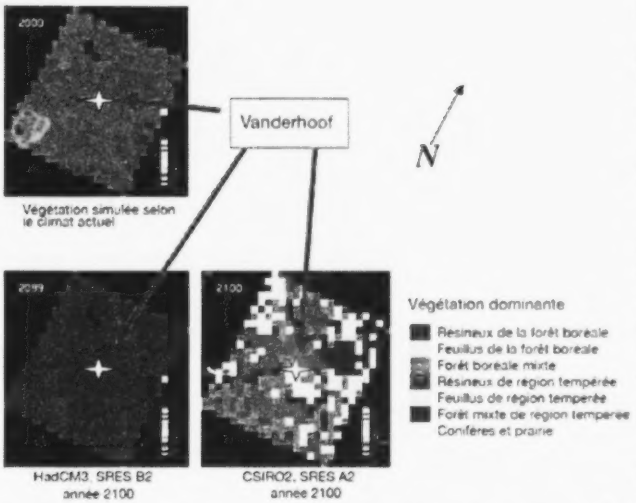


FIGURE 12 : Couvert forestier simulé (établi au moyen d'IBIS, un modèle de végétation planétaire dynamique) dans la zone d'étude de Vanderhoof, en Colombie-Britannique, en fonction du climat actuel et de celui du début du prochain siècle, selon deux scénarios climatiques (*Source* : D. Price, Ressources naturelles Canada). La région à l'étude mesure environ 200 km sur 200 km, le dirstrict de Vanderhoof étant sis au centre. Chaque maille de la grille simulée par le modèle IBIS mesure 10 km sur 10 km.

4.2.3 Équipe de travail sur le changement climatique et Initiative des écosystèmes forestiers de l'avenir de la Colombie-Britannique

Le changement climatique jouera un rôle de premier plan dans la forme que prendront la composition et l'utilisation des forêts en Colombie-Britannique. Conscient de ce fait, le ministère provincial des Forêts et des Pâturages a élaboré deux projets interreliés pour examiner l'état futur potentiel des écosystèmes forestiers et déterminer comment il faudra réagir en matière de gestion. Ces initiatives considèrent le changement climatique comme une influence importante, tout autant que la concurrence des autres pays et les nouvelles relations de travail entre les gouvernements et les Premières nations, pour l'avenir des forêts, du secteur forestier et des collectivités forestières de la Colombie-Britannique. Elles témoignent d'un effort de passer de l'étude des répercussions à la mise en œuvre des mesures d'adaptation.

À l'automne 2005, le Ministère a mis sur pied une équipe de travail sur le changement climatique qui a pour tâche de revoir les répercussions possibles du changement climatique sur les ressources provinciales en matière de forêts et de pâturages, de détecter les lacunes sur le plan des connaissances et d'élaborer des recommandations sur la façon dont le Ministère devrait réagir. Les recommandations de l'équipe ont été publiées dans un rapport intitulé *Preparing for Climate Change: Adapting to Impacts on British Columbia's Forest and Range Resources* (BC Ministry of Forests and Range, 2006). L'Initiative des écosystèmes forestiers de l'avenir (Future Forest Ecosystems Initiative, ou FFEI), lancée en décembre 2005, a réuni des représentants d'universités et des gouvernements (provincial et fédéral), des Premières nations, du secteur forestier et d'organisations environnementales pour un colloque-atelier de deux jours.

Le Ministère a procédé à de nombreuses consultations en s'appuyant sur les rapports de l'équipe de travail et de la FFEI. Il a amalgamé les recommandations des rapports et les résultats des consultations dans le but de pouvoir adapter le cadre de gestion des forêts de la Colombie-Britannique à l'évolution du climat. On y parviendra en comprenant mieux les processus écologiques et les risques qui menacent les écosystèmes forestiers, et en faisant connaître les façons d'adapter le cadre de gestion des forêts à un milieu en évolution. On élabore actuellement des stratégies en ce sens. Il s'écoulera certes quelques années avant la mise en œuvre des interventions d'adaptation, mais la consultation, le renforcement des capacités et les évaluations de la vulnérabilité sont les premières étapes de cette démarche d'adaptation.

4.3 INTÉRIEUR SUD : RÉGIONS DE L'OKANAGAN ET DU BASSIN DU COLUMBIA

L'intérieur sud de la Colombie-Britannique comprend la région de l'Okanagan et le bassin supérieur du Columbia, qui alimentent tous deux le système inférieur du Columbia. La principale difficulté d'adaptation au climat de ces deux régions réside dans le besoin de gérer les ressources en eau pour des usages multiples et souvent concurrents. L'Okanagan connaît une croissance rapide de la population et de l'agriculture sous irrigation, alors que la région du Columbia occupe une position unique en raison de son importance pour la production d'hydroélectricité pour la Colombie-Britannique et pour le Traité du fleuve Columbia, conclu avec les États-Unis. Les deux régions sont également aux prises avec des problèmes de gestion et de conservation des ressources halieutiques. La discussion ci-dessous reflète le fait que l'Okanagan a fait l'objet de beaucoup plus d'études.

4.3.1 Questions relatives aux ressources hydriques

Les réseaux d'approvisionnement en eau de l'Okanagan subissent déjà le stress exercé par une croissance démographique rapide et par des modifications de l'utilisation des sols (Cohen *et al.*, 2004, 2006). Les récentes sécheresses de 2001 et 2003 sont des exemples de phénomènes extrêmes à court terme qui ont eu une influence sur l'approvisionnement et la demande en eau, et sur les perceptions du risque dans la région. La sécheresse de 2003 a provoqué des conflits locaux à propos de l'utilisation de l'eau (Moorhouse, 2003) et mené à la mise en place de mesures de conservation tant d'urgence qu'à plus long terme (Johnson, 2004). Ces sécheresses ont fait prendre davantage conscience du problème de la sensibilité au climat et peut-être même de la vulnérabilité au changement climatique. Conjugués à la croissance démographique prévue, aux préoccupations relatives aux écosystèmes aquatiques et aux pêches, et aux tendances à long terme du développement régional, les répercussions du changement climatique à venir viennent s'ajouter aux questions sur lesquelles les planificateurs et les gestionnaires des eaux de cette région devront se pencher.

La diversité des points de vue quant aux répercussions du changement climatique a constitué le point de départ d'un dialogue sur la façon dont la région pourrait s'adapter au changement climatique (Cohen *et al.*, 2000). Des recherches ont décrit les répercussions possibles sur l'hydrologie et la gestion des eaux du réseau du Columbia, dont d'éventuels compromis entre la gestion à des fins de production d'hydroélectricité et le maintien de débits minimums pour les pêches (Payne *et al.*, 2004). Dans l'Okanagan, les études de cas sur l'hydrologie et la demande en eau aux fins d'irrigation (Cohen et Kulkarni, 2001; Neilsen *et al.*, 2001) ont été suivies par des travaux de collaboration qui comprenaient des évaluations du bilan hydrique de la région, y compris de la demande du secteur agricole et du secteur résidentiel (Neilsen *et al.*, 2004a, b), de même que des expériences d'adaptation, un examen préliminaire des coûts associés aux options d'adaptation et un dialogue sur leur mise en œuvre potentielle.

Des scénarios de changement climatique basés sur deux scénarios d'émissions (A2 et B2) et trois modèles climatiques ont servi à générer des scénarios hydrologiques pour divers sous-bassins du bassin de l'Okanagan correspondant à trois périodes de temps, soit les années 2020, 2050 et 2080 (Merritt *et al.*, 2006). Tous les résultats révèlent un avancement de la période de pointe de la fonte des neiges au printemps, accompagné d'une réduction du débit en été et d'une augmentation en hiver, quoique la forme de cette période de pointe varie considérablement (*voir* les figures 13 et 14). Les hydrogrammes issus de ces scénarios se sont révélés un outil important de transposition des répercussions du changement climatique en termes qui s'avèrent significatifs et tangibles pour les gestionnaires responsables de la prise de décision à l'échelle régionale.

Les scénarios hydrologiques du bassin de l'Okanagan sont dans l'ensemble semblables à ceux du Columbia. L'accumulation maximale annuelle de neige serait atteinte quatre semaines plus tôt d'ici les années 2080. Le débit de pointe du printemps surviendrait 15 à 40 jours plus tôt d'ici les années 2050, et 20 à 70 jours plus tôt d'ici les années 2080. Une accumulation annuelle de neige plus faible, et atteinte plus tôt, aurait un impact important sur le bassin du Columbia du fait du rôle critique qu'elle joue dans le maintien de la régularité de la production d'hydroélectricité (Columbia Mountain Institute for Applied Ecology, 2003). La variation de l'apport annuel des eaux de surface irait d'une diminution modeste à des réductions extrêmes d'environ 65 p.100 d'ici les années 2080 (Merritt *et al.*, 2006). En même temps, on prévoit une augmentation de la demande en eau des secteurs agricole et résidentiel, contribuant ainsi au risque croissant de pénuries d'eau. La demande en eau pour les cultures durant les années 2080 pourrait augmenter de 60 p.100 en raison de l'allongement et du réchauffement de la saison de croissance, mais des facteurs comme l'utilisation des sols et la fertilisation par le dioxyde de carbone influeront sur cette évaluation (Neilsen *et al.*, 2004a, 2006). Une comparaison entre l'approvisionnement en eau dans le lac Okanagan et la demande prévue pour les cultures révèle que le rapport global de la demande à l'approvisionnement augmenterait d'environ 25 p.100 à 50 p.100 (*voir* la figure 15).

La croissance démographique prévue et l'allongement de la saison de croissance pourraient entraîner une importante augmentation de la demande du secteur résidentiel. L'étude de cas d'Oliver, en Colombie-Britannique, révèle que la demande pourrait tripler d'ici les années 2080. La mise en œuvre d'un portefeuille de mesures axées sur la demande pourrait ralentir l'augmentation prévue (*voir* la figure 16), ce qui donnerait le temps à la collectivité de prévoir des moyens

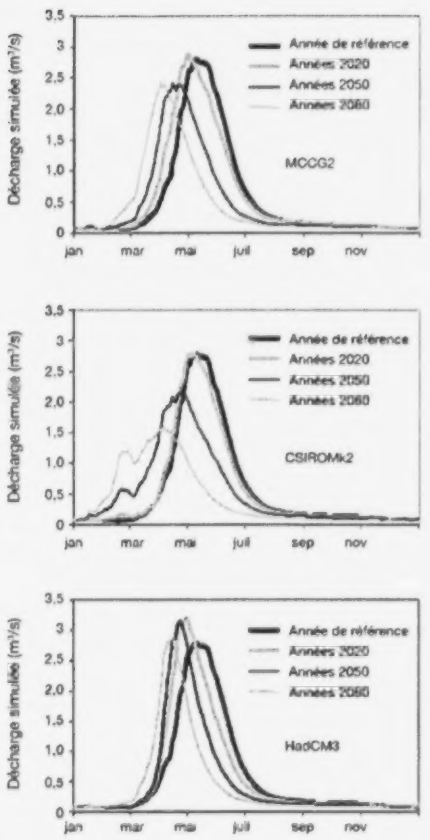


FIGURE 13 : Scénarios hydrologiques du ruisseau Whiteman, en Colombie-Britannique, établis à partir de trois modèles climatiques (MCCG2, CSIROMk2 et HadCM3) et du scénario d'émissions A2 (Merritt *et al.*, 2006).

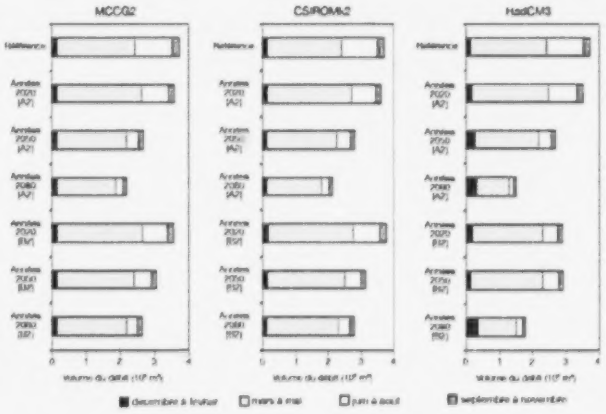
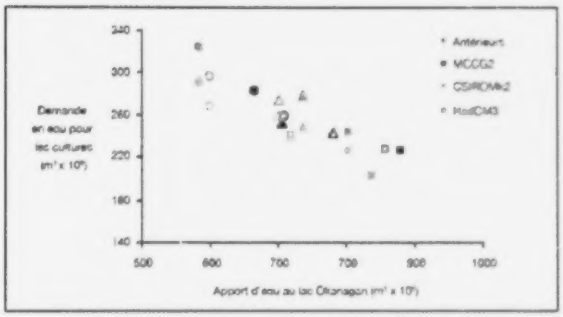


FIGURE 14 : Réactions hydrologiques prévues du volume du débit au ruisseau Vaseaux, dans le bassin de l'Okanagan, en Colombie-Britannique, établies à partir de trois modèles climatiques et de deux scénarios d'émissions (A2 et B2; Merritt *et al.*, 2006).



*les symboles pleins représentent le scénario A2, les symboles vides, le scénario B2
carrés: années 2020, triangles: années 2050, cercles: années 2080

FIGURE 15 : Changements projetés de l'apport d'eau dans le lac Okanagan et de la demande en eau pour les cultures (Neilsen *et al.*, 2004a).

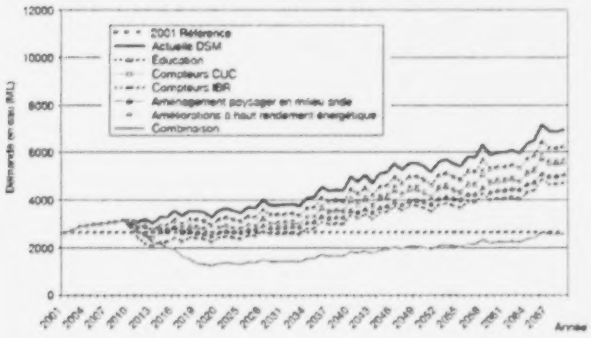


FIGURE 16 : Changements projetés de la consommation résidentielle à Oliver, en Colombie-Britannique, dus à la croissance démographique et au changement climatique, et application présumée de mesures d'adaptation axées sur la demande (Neale *et al.*, 2006).

d'augmenter l'approvisionnement en eau (Neale *et al.*, 2006). Sans mesures spécifiques de gestion de la demande pour les secteurs agricole et résidentiel et pour les écosystèmes aquatiques, dans le cadre d'un portefeuille élargi de mesures d'adaptation, la demande annuelle totale dépassera les apports annuels disponibles du bassin de l'Okanagan vers la fin du présent siècle (Langsdale *et al.*, 2006).

Adaptation

Dans le bassin de l'Okanagan, on a souvent eu à adapter les réseaux d'aqueduc pour faire face à de nouveaux problèmes ou tirer avantage de nouvelles possibilités; au nombre des exemples, on compte la régionalisation des réseaux de distribution de l'eau à Vernon et l'installation de compteurs dans le district d'irrigation du sud-est de Kelowna (Southeast Kelowna Irrigation District, ou SEKID) et dans la ville de Kelowna. Dans le cas du SEKID, le facteur ayant déclenché l'intervention a été le climat sec de 1987. On a eu recours à divers moyens pour en arriver à des décisions, parfois à l'aide de mesures incitatives provinciales ou sous l'influence du stress exercé par le milieu ou l'évolution des coûts. Jusqu'à présent, les cas du SEKID et de Kelowna semblent révéler que les mesures sont parvenues à faire baisser la demande en eau, mais il est encore trop tôt pour évaluer les résultats de la régionalisation de la distribution d'eau à Vernon (Shepherd *et al.*, 2006).

En termes d'adaptation au changement climatique à venir, il existe un grand éventail de solutions de coûts variables (Hrasko et McNeill, 2006), compte tenu du fait que d'autres facteurs que le coût agiront sur la prise de décision (Tansey et Langsdale, 2004). Par exemple, les participants au dialogue d'Oliver se sont dits intéressés à exploiter davantage les eaux souterraines et ont convenu qu'il fallait utiliser l'eau plus efficacement. Toutefois, ils s'inquiétaient qu'une plus grande efficacité de l'utilisation de l'eau par le secteur agricole puisse mener à une perte de droits relatifs à l'eau en faveur des usagers du secteur résidentiel et accélérer la croissance démographique. À Westbank, qui fait partie de l'unité de planification dite « Trepanier Landscape Unit » (TLU), une région à croissance démographique rapide, les participants au dialogue se sont dits intéressés à augmenter l'approvisionnement en pompant l'eau du lac Okanagan et en améliorant l'efficacité par la détection des fuites et d'autres mesures.

Un atelier à l'échelle du bassin, tenu à Kelowna, se voulait plus stratégique. On a appuyé l'intégration, à l'échelle du bassin, de la planification des terres et des eaux, et une structure de gouvernance à cet effet. Certains se sont dits inquiets du manque de sensibilisation perçu dans le public quant aux problèmes des ressources hydriques d'ordre régional et ont soulevé le besoin d'informer davantage le public. Un résultat important de cette approche participative aux recherches sur les répercussions du changement climatique et sur l'adaptation a été la prise en considération explicite du changement climatique dans le plan de gestion des eaux de la TLU (Summit Environmental, 2004).

4.3.2 L'agriculture

Les cultures du bassin de l'Okanagan dépendent entièrement de l'irrigation, et l'agriculture utilise donc 75 p.100 de l'eau consommée. Présentement, on y trouve surtout des cultures de vivaces (arbres fruitiers et raisin de cuve à fort rapport économique, pâturages et plantes fourragères) et une petite superficie de cultures annuelles (maïs d'ensilage, légumes) croissant dans des microclimats qui leur conviennent. La production économique de cultures très lucratives exige de pouvoir disposer de l'eau au moment opportun afin d'assurer la qualité du produit et de protéger l'investissement que représentent les plants d'espèces vivaces. On a recours à des déficits hydriques planifiés pour améliorer les attributs de qualité de certaines cultures, notamment le raisin de cuve (Dry *et al.*, 2001), tout en conservant l'eau. C'est pourquoi les limites de la disponibilité de l'eau d'irrigation et l'adaptation à cette situation dans le climat actuel et à venir sont des questions importantes pour le secteur de l'agriculture en Colombie-Britannique.

Même si ce sont les changements du climat moyen qui détermineront, à la longue, quelles productions seront viables dans une région, les phénomènes climatiques extrêmes posent un plus grand défi d'adaptation (Groupe d'experts intergouvernmental sur l'évolution du climat, 2001). Pour l'agriculture de l'Okanagan, le plus grand risque est la manifestation et l'augmentation de la fréquence des sécheresses, de même que la pénurie d'eau qui les accompagne et met en péril les cultures sous irrigation.

Des modèles de la demande en eau élaborés à l'aide des scénarios de changement climatique de trois MCG et de deux scénarios d'émissions laissent tous prévoir pour le bassin de l'Okanagan une augmentation de la demande en eau de l'ordre de 12 p.100 à 20 p.100 dans les années 2020, de 24 p.100 à 38 p.100 dans les années 2050 et de 40 p.100 à 61 p.100 dans les années 2080 (Neilsen *et al.*, 2006), ce qui correspond à l'augmentation de la demande en période de pointe et à l'allongement de la saison de croissance (30 p.100 à 35 p.100 d'ici 2100 pour toutes les cultures). L'augmentation de l'évapotranspiration est le facteur le plus important de la croissance de la demande en eau pour les cultures. Dans une étude de cas d'un sous-bassin (ruisseau Trout), où la demande en eau provient surtout du secteur agricole, la fréquence à laquelle la demande en eau modélisée pour les cultures dépassait le seuil de stockage d'un barrage augmentait au cours du siècle dans tous les scénarios de changement climatique (Neilsen *et al.*, 2006). Compte tenu de l'augmentation de la fréquence des sécheresses liée au changement climatique, il est clair que les infrastructures en place, typiques d'un grand nombre des réservoirs de stockage des terres hautes de la région, seront incapables de répondre à la demande dans les années de climat extrême.

Vulnérabilité des producteurs

Deux études de la vulnérabilité des pomiculteurs et des viticulteurs au climat et aux autres risques ont été menées séparément dans la vallée de l'Okanagan (Belliveau *et al.*, 2006a, b) à l'aide de la méthodologie élaborée par Ford et Smit (2004). On a posé aux producteurs une série structurée de questions pour les amener à caractériser les bonnes et les mauvaises années, et à indiquer les stratégies de gestion qu'ils ont utilisées en conséquence. Tous les facteurs ayant eu une incidence sur la production et le rendement ont été soulevés, sauf le changement et la variabilité du climat qui, eux, n'ont été mentionnés qu'à la fin du sondage.

Les pomiculteurs et les viticulteurs ont mentionné des risques différents, même si leurs exploitations sont situées aux mêmes endroits. Les producteurs de raisin s'inquiètent surtout des risques d'ordre météorologique (*voir* la figure 17), inquiétude que l'examen des données météorologiques et de production à long terme confirme d'ailleurs (*voir* le tableau 12; Caprio et Quamme, 2002). Pour leur part, les pomiculteurs ont également mentionné les risques météorologiques comme un facteur important lorsqu'il s'agissait de déterminer si une année avait été bonne ou mauvaise, mais c'est le prix du marché qui se retrouvait au premier plan de

TABLEAU 12 : Principaux facteurs climatiques déterminant l'aptitude de la Colombie-Britannique à soutenir un système de culture de plantes ligneuses vivaces (*selon* Caprio et Quamme, 2002).

Stade phénologique	Facteur phytologique	Impact du climat	Pomme	Cerise	Abricot / Pêche	Raisin
Année en cours						
Dormance	Rigueur de l'hiver	Nuisible	<-7°C à <-29°C de nov. à févr.	< -13°C à < -24°C de nov. à févr.	< -13°C à < -24°C de nov. à févr.	< -6°C à < -23°C de nov. à févr.
	De-acclimatation	Nuisible	> 5°C en janv.			> 9°C de nov. à déc.
	Protection des racines	Avantageux		Chute de neige	Chute de neige	Chute de neige en janvier
Floraison	Dommages par le gel de printemps	Nuisible	< 5°C	< –2°C	< –2°C	
Pollinisation/ croissance du tube pollinique	Hors de la plage thermique optimale	Nuisible	> 28°C le jour; < 10°C la nuit			
		Avantageux	> 21°C le jour; > 11°C la nuit	> 16°C	> 16°C	
Division et expansion des cellules du fruit	Hors de la plage thermique optimale	Nuisible	> 33°C en août	> 33°C à > 37°C à la récolte	>31°C à la récolte	> 32°C de juil. au début d'août (véraison[1])
	Craquelures des cerises/maladies/réduction de la photosynthèse	Nuisible		Pluie juste avant et durant la récolte		Pluie en tout temps (maladie)
		Avantageux	> 17°C à la récolte			>26°C durant la saison entière
Saison précédente						
Apparition du bourgeon	Hors de la plage thermique optimale	Nuisible	> 30°C en juin			> 32°C
		Avantageux				> 26°C autre qu'à la mi-juil.
Développement du bourgeon	Hors de la plage thermique optimale	Nuisible	> 26°C en août		> 27°C en août	
	Réduction de la photosynthèse, maladie	Nuisible		Précipitations	Précipitations	
		Avantageux		>19°C de sept. à oct.	>26°C de sept. à oct.	> 26°C autre qu'à la mi-juil.

[1] étape physiologique à laquelle le raisin commence à prendre de la couleur.

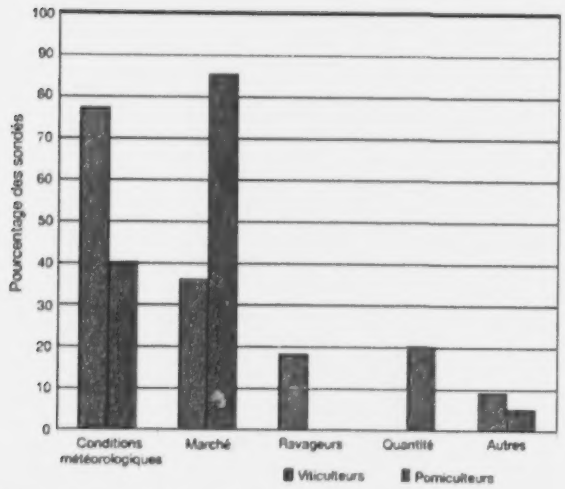


FIGURE 17 : Risques qui caractérisent les mauvaises années économiques, tels que déterminés par les pomiculteurs et les viticulteurs de la vallée de l'Okanagan, en Colombie-Britannique (Belliveau *et al.*, 2006a, b).

leurs préoccupations (*voir* la figure 17). La combinaison d'une baisse des prix du marché et d'une récolte de moins bonne qualité en raison du mauvais temps était considérée par eux comme le pire des scénarios. Comme dans le cas des viticulteurs, ce sont les dommages dus au froid et à la dessiccation en hiver, et les températures élevées en été, de même que la grêle, qui sont leurs principales préoccupations d'ordre climatique.

Les pomiculteurs et les viticulteurs se sont adaptés pour réduire le risque au minimum (*voir* le tableau 13). Dans les deux cas, la qualité du fruit étant le principal déterminant du prix, ils consacrent beaucoup d'efforts à obtenir une récolte de la meilleure qualité possible. Un certain nombre de pratiques peuvent compenser les effets des conditions météorologiques, y compris la protection contre le gel par l'irrigation ou des souffleuses à air, la protection contre le stress de la chaleur au moyen de l'irrigation pour assurer un refroidissement par évaporation, et une meilleure lutte contre les maladies et les ravageurs durant les années froides et humides. Il y a également eu des réactions non horticoles aux conditions météorologiques, comme celle de produire un type de vin différent ou d'expédier les fruits aux usines de transformation plutôt qu'aux marchés de fruits et légumes frais. L'assurance-récolte est une importante stratégie de gestion du risque à laquelle ont recours 85 p.100 des pomiculteurs et 72 p.100 des viticulteurs pour compenser les pertes dues aux conditions météorologiques.

Des stratégies de gestion du risque visant à régler un problème peuvent en empirer un autre. Par exemple, deux stratégies appuyées par le gouvernement, soit le programme d'arrachage des vignes, en 1988, et le programme de plantation de pommiers à partir de 1992, ont malheureusement augmenté la vulnérabilité au risque climatique. Dans le cas des vignes, des variétés hybrides résistantes au froid ont été remplacées par des variétés plus fragiles; dans le cas des pommiers, les porte-greffes nanisants ont augmenté la susceptibilité au dommage hivernal des racines de même qu'à la brûlure des fruits par le soleil. Les programmes d'aide, comme le Programme canadien de stabilisation du revenu agricole, peuvent également nuire aux mesures prises par les producteurs pour réduire les risques climatiques. Par exemple, la décision des pomiculteurs de diversifier leurs variétés peut signifier que l'échec d'une récolte sera masqué par le succès d'une autre, ce qui empêche la ferme d'avoir droit à l'aide au revenu. De même, la diversification des sites chez un viticulteur peut empêcher celui-ci d'être dédommagé pour la perte d'une récolte à un site donné si d'autres sites n'ont pas été touchés, à moins que chacun des sites ne soit couvert séparément.

Les élévations de la température moyenne de 1,5 °C à 4 °C prévues d'ici les années 2050 pour cette région pourraient permettre aux viticulteurs de planter des variétés qui mûrissent plus tard ou qui ont besoin de plus d'unités thermiques pour atteindre une meilleure qualité (*voir* le tableau 12). Les pomiculteurs pourraient également cultiver des variétés qui exigent une saison de croissance plus

TABLEAU 13 : Adaptation des pomiculteurs et des viticulteurs de la vallée de l'Okanagan à l'échelle de l'exploitation pendant les mauvaises années (Belliveau *et al.*, 2006a, b).

Facteur	Moyens d'adaptation	
	Viticulteurs	Pomiculteurs
Conditions météorologiques		
Saison froide et humide	Enlever les plants et les nouvelles pousses; pulvérisations supplémentaires contre les moisissures Faire des vins pétillants Vins de prix inférieur	
Gel	Irriguer Souffleuses à air Assurance-récolte Choix d'une variété précoce	Irriguer Souffleuses à air Assurance-récolte
Chaleur extrême	Irriguer	Irriguer Diversifier le revenu familial (conjoint travaillant à l'extérieur)
Grêle		Assurance-récolte Envoyer les fruits récupérés à l'usine
Endommagement par l'incendie ou la fumée	Assurance-récolte	
Marché		
Bas prix		Resserrer le budget, réduire les dépenses Changer les variétés cultivées Produire un fruit de grande qualité Stabilisation du revenu Diversifier le revenu familial
Diminution du tourisme	Être plus dynamique dans d'autres créneaux Augmenter les ventes locales	

longue. Par contre, les risques de gel du printemps et de l'automne resteront probablement les mêmes ou pourraient même augmenter si l'avancement des dates de floraison ne s'accompagne pas d'une diminution correspondante du risque de gel. Des températures extrêmement élevées en été, toutefois, pourraient rendre les conditions moins propices à la culture de la pomme (*voir* le tableau 12). La culture de plantes vivaces qui nécessitent l'irrigation, comme les arbres fruitiers ou les vignes, exige un important investissement (15 000 $ à 20 000 $ par hectare) en plants et en infrastructures. En outre, la période de temps qui s'écoule avant que ces investissements ne rapportent varie selon le type de culture (cinq à dix ans) et la durée de vie des plants est de 15 à 20 ans. Bien que des techniques horticoles (p. ex., greffe) permettent de changer de variétés à mi-parcours, de tels systèmes de production sont, de par leur nature, moins flexibles que la culture des annuelles, et donc plus vulnérables au changement climatique.

4.3.3 Les écosystèmes aquatiques et la pêche

Au cours du dernier siècle, les activités humaines ont de plus en plus dominé la mosaïque originale des écosystèmes aquatiques et terrestres du bassin de l'Okanagan. Le tiers de toutes les espèces végétales et animales qui figurent sur la liste des espèces menacées de disparition imminente, en Colombie-Britannique, se trouvent dans les écosystèmes du bassin de l'Okanagan (Bezener *et al.*, 2004). Quatre-vingt-cinq pour cent des habitats de terres humides et riverains de fonds de vallée ont été perdus en raison des activités humaines et de leurs perturbations (BC Ministry of Environment, 1998). Au cours des 30 dernières années, la pêche sportive et la pêche au saumon des Premières nations, qui jouit d'une protection constitutionnelle, ont virtuellement disparu de tout le bassin (Hyatt et Rankin, 1999; Andrusak *et al.*, 2002). Des espèces migratoires, comme le saumon rouge (*Oncorhynchus nerka*) et la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) font l'objet d'objectifs et d'accords de gestion et de conservation tant nationaux qu'internationaux. Le maintien à long terme et la restauration des écosystèmes aquatiques et des populations de poissons indigènes de la vallée de l'Okanagan représentent un défi important, auquel vienent s'ajouter des considérations d'ordre régional, national et international fort complexes (p. ex., Shepard et Argue, 2005).

Les tentatives de restauration des populations de saumon dans le bassin de l'Okanagan-Columbia (p. ex. Wright, 2004) s'inscrivent dans le cadre d'un vaste effort de gestion des écosystèmes aquatiques régionaux à des fins multiples, dont la production d'hydroélectricité, l'irrigation, la navigation, la lutte contre les inondations, les loisirs, l'approvisionnement en eau industriel et municipal, et les habitats halieutiques et fauniques (Lee, 1993). Le changement climatique pose un défi important à ces efforts en général, et à la conservation et à la restauration des populations décimées de salmonidés en particulier, puisqu'il agit sur la quantité et la qualité de l'apport hydrique saisonnier qui régit les caractéristiques de l'habitat (température, taux d'oxygène, débit et charge en nutriments) essentielles aux salmonidés. Le réchauffement de l'eau et les changements de volume et de période du débit des cours d'eau créeront, dans les bassins de l'Okanagan et du Columbia, des conditions de plus en plus inhospitalières pour les salmonidés (Hyatt *et al.*, 2003; Casola *et al.*, 2005). Ces impacts du changement climatique aggraveront les conflits existants (Whitfield et Canon, 2000; Moorhouse, 2003) et en feront naître de nouveaux liés à l'attribution de quantités d'eau limitées en vue de maintenir le niveau des lacs et les débits minimums pour le poisson, tout en satisfaisant les besoins des autres usagers aux échelles régionale et internationale (Pulwarty et Redmond, 1997; Payne *et al.*, 2004).

Les objectifs concurrents de la gestion de l'eau dans le bassin de l'Okanagan font depuis longtemps l'objet de dialogues et d'interventions (Hourston *et al.*, 1954; Anonyme, 1974; Cohen et Kulkarni, 2001). C'est pourquoi de nombreux détails du cadre actuel de la gestion de l'eau figurent à titre d'éléments normatifs dans des accords nationaux (Canada-British Columbia Okanagan Basin Agreement, ou OBA) ou internationaux (Canada–États-Unis). L'OBA reconnaît spécifiquement que les décisions en matière de gestion de l'eau ont une incidence sur les écosystèmes aquatiques et la production des poissons, de sorte que des dispositions de l'accord portent surtout sur le maintien des niveaux de décharge des lacs et des cours d'eau qui sont ajustés de façon saisonnière, afin de protéger la capacité de production des populations de salmonidés dans l'ensemble du système (Anonyme, 1974). On attribue à la complexité de trouver un équilibre entre les besoins en eau du secteur des pêches, les mesures de lutte contre les inondations et les objectifs d'allocation de l'eau (Alexander *et al.*, 2005) le fait qu'on se soit peu conformé à l'OBA quant aux provisions visant le niveau et la décharge du lac (Bull, 1999).

Adaptation

Le changement climatique complique encore plus la tâche difficile d'équilibrer les objectifs concurrents de l'approvisionnement en eau pour le maintien des écosystèmes naturels et celui des ouvrages construits qui dominent de plus en plus les bassins de l'Okanagan et du Columbia. Bien que des décennies d'expérience dans les portions du bassin du Columbia situées aux États-Unis semblent indiquer qu'une augmentation des conflits quant aux objectifs de gestion de l'eau serait inévitable (Committee on Protection and Management of Pacific Northeast Anadromous Salmonids, 1996), elles mettent aussi en évidence l'importance de trouver des solutions d'adaptation viables en vue, le cas échéant, d'éliminer ces conflits ou de les réduire au minimum. Parmi les avenues possibles figurent les suivantes : 1) élaborer et maintenir un dialogue éclairé entre les organismes gouvernementaux, le secteur industriel et les collectivités locales (p. ex., Tansey et Langsdale, 2004) afin d'examiner les objectifs concurrents de la gestion de l'eau; 2) augmenter la collaboration et l'intégration de tous les groupes participants à la définition et au maintien des cadres de gestion de l'eau; 3) acquérir des compétences à la fine pointe de la science et de la technologie en vue de doter les gestionnaires des ressources de nouveaux outils qui leur permettront de fournir les informations essentielles à la prise de décisions complexes en matière de gestion de l'eau (Hyatt et Alexander, 2005).

4.4 LES RÉGIONS MÉTROPOLITAINES : VANCOUVER ET VICTORIA

Le District régional du Grand Vancouver et le District régional de la capitale Victoria constituent les noyaux politique et économique de la Colombie-Britannique. Bien que l'adaptation au changement climatique ne soit généralement pas une préoccupation première des dirigeants et des chefs de file des villes, il s'agit d'un enjeu en émergence, à l'ordre du jour de la planification et de la gestion de

certains ministères et décideurs. On trouvera ci-dessous un résumé des deux principaux problèmes auxquels sont confrontés les deux districts les plus populeux de la Colombie-Britannique : la gestion de l'approvisionnement en eau et la gestion des eaux pluviales.

4.4.1 Gestion de l'approvisionnement en eau

Les deux districts doivent relever le défi bien connu de gérer les approvisionnements en eau d'une population en pleine croissance avec des infrastructures désuètes et dans un contexte de changement climatique. Le réservoir Sooke, dans le sud de l'île de Vancouver, est la principale source d'eau pour le district de Victoria. Le climat de la région se caractérise par des étés chauds et secs, et des hivers doux et humides. Le bilan hydrique de la région se définit quant à lui par un surplus de 1 226 mm l'hiver, quand le réservoir se remplit, et par un déficit de 138 mm l'été, lorsque le réservoir se vide. Il y a donc un déséquilibre naturel entre l'approvisionnement en eau et l'utilisation de l'eau dans la région (*voir* la figure 18), comme cela arrive souvent dans de nombreux bassins de la côte de la Colombie-Britannique. En outre, on note une forte variabilité interannuelle et interdécennale des précipitations saisonnières, et les périodes de surplus et de graves pénuries d'eau ont été fréquentes depuis le début des années 1980 (*voir* la figure 19). Le PDO exerce une grande influence sur cette variabilité, de même que sur le bilan hydrique du réservoir (*voir* la figure 19).

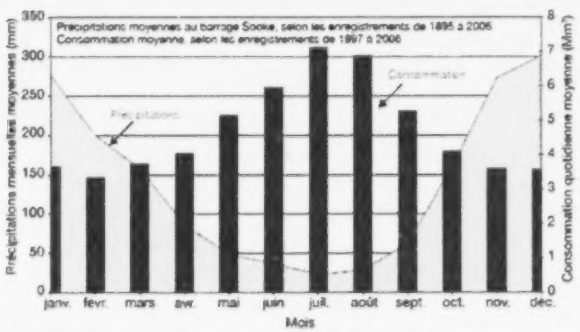


FIGURE 18 : Apports moyens des précipitations, et prélèvements aux fins de consommation au réservoir Sooke, au sud de l'île Vancouver, en Colombie-Britannique (*tiré de* Capital Regional District Water Services, 2007).

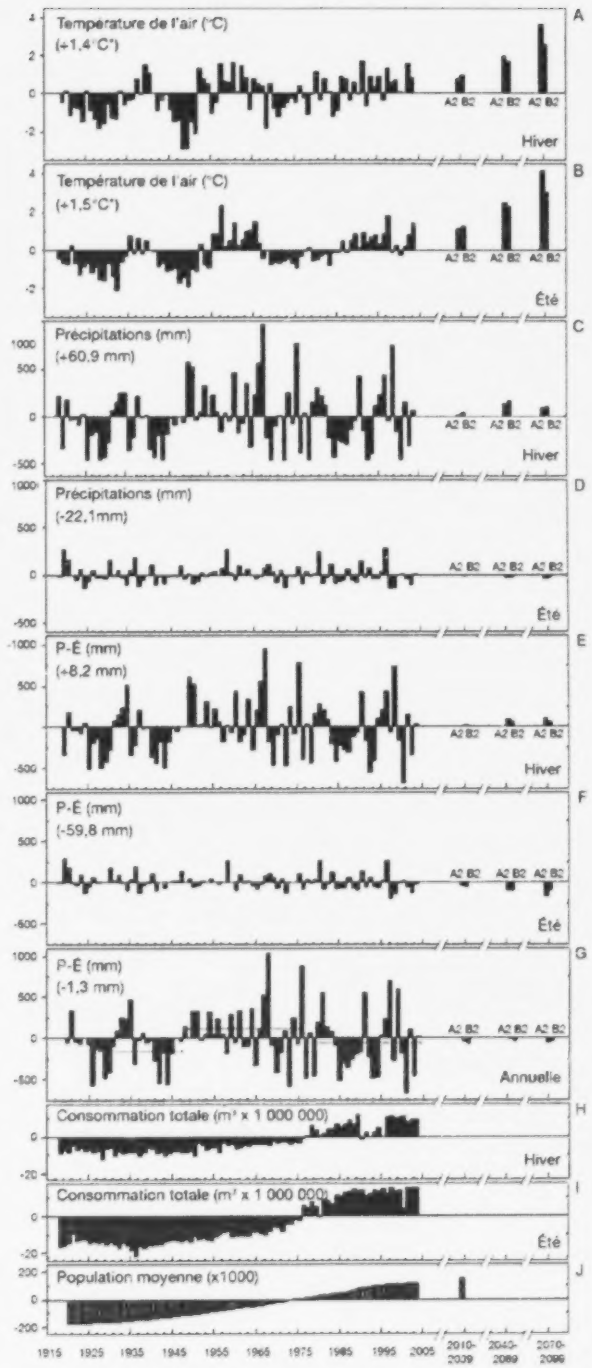


FIGURE 19 : Écarts en hiver (octobre à mars) et en été (avril à septembre) des variables de l'approvisionnement en eau du réservoir Sooke par rapport aux valeurs moyennes de 1961 à 1990 (tendances linéaires de la période de 87 ans entre crochets; * indique des tendances au degré de confiance de 0.05). Les données sur la température, les précipitations et la consommation ont été fournies par le District régional de la capitale. À noter que les valeurs de température pour 1966 à 1994 et de consommation pour 1971 à 1977 ont été estimées. L'évaporation a été estimée à partir de la longueur du jour et de la température de l'air (*selon* Hamon, 1963). On trouvera également les futures valeurs de la température, des précipitations et de l'évaporation potentielle pour des périodes de 30 ans, centrées sur les années 2020, 2050 et 2080. Les projections se fondent sur les moyennes d'ensemble pour les scénarios d'émissions A2 et B2 établis à partir des sept modèles de circulation générale recommandés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2001).

En réaction aux graves sécheresses et à la croissance démographique prévues, le District régional de la capitale a surélevé le niveau du réservoir Sooke de 6 m en 2002, ce qui a accru la capacité de stockage de 78 p.100 (Capital Regional District Water Services, 2004). Si l'on se base sur les conditions climatiques du passé et sur un taux maximal de croissance d'environ 1 p.100, cette nouvelle capacité ne permettra de répondre à la demande prévue que jusqu'en 2023 (Capital Regional District Water Services, 2004). Le District a mis en œuvre plusieurs projets de conservation ou de gestion de la demande qui compensent partiellement l'augmentation de la demande, notamment des compteurs d'eau résidentiels, des restrictions de l'arrosage des pelouses en plusieurs étapes et des rabais consentis sur l'achat d'appareils plus efficaces (toilettes, machines à laver).

Le District régional du Grand Vancouver s'approvisionne en eau dans les bassins Capilano, Seymour et Coquitlam, dans la chaîne côtière, en bordure nord de la ville. Le climat de ces bassins est beaucoup plus humide et beaucoup plus froid que celui de Sooke, et les eaux de ruissellement du printemps et de l'automne y sont abondantes, de même que l'accumulation de neige hivernale. Les six réservoirs en montagne offrent une grande capacité de stockage en été. Les entraves actuelles à l'approvisionnement en eau du District régional du Grand Vancouver sont liées à la capacité des infrastructures du réseau, en particulier les canalisations, les prises d'eau et les installations de traitement des eaux, de répondre à l'augmentation de la demande d'une population en pleine croissance.

À l'avenir, le changement climatique entraînera une diminution de l'accumulation de neige annuelle, car il y aura une augmentation des précipitations annuelles tombant sous forme de pluie. Comme les étés seront plus secs et plus longs, les infrastructures seront encore plus sollicitées, en particulier durant les périodes de pointe de la demande saisonnière. Le changement climatique exigera probablement que l'on effectue plus tôt les modernisations et les investissements en capital requis pour augmenter la capacité de stockage. Les programmes de gestion de la demande et de laconservation de l'eau sont des premières étapes importantes, qui devraient permettre de retarder le moment d'entreprendre des améliorations en matière de capacité. Le plan de gestion de l'eau potable (Drinking Water Management Plan) du District régional du Grand Vancouver prévoit l'évaluation et la surveillance en continu, avec des rapports d'étape biennaux qui tiennent compte des répercussions possibles du changement climatique et des implications en matière de planification de l'amélioration de la capacité (Greater Vancouver Regional District, 2005a, b).

Les deux principales régions métropolitaines de la Colombie-Britannique ont déjà pris des mesures pour prévenir certaines répercussions du changement climatique sur l'approvisionnement en eau, répercussions qui vont d'ailleurs s'ajouter au stress exercé par l'augmentation de la demande et la croissance démographique, et devancer le moment où les approvisionnements actuels s'avéreront insuffisants. La gestion de la demande et la conservation de l'eau en continu sont des stratégies d'adaptation importantes, même si elles ne sont pas explicitement mises en œuvre en tant que telles. Les mesures d'adaptation à long terme exigeront probablement d'autres travaux de modernisation des infrastructures et d'augmentation de la capacité de stockage.

4.4.2 Gestion des eaux pluviales

Depuis 2000, le District régional du Grand Vancouver examine les risques possibles que le changement climatique peut poser pour les réseaux d'égouts et de drainage. L'analyse des tendances constatées à l'étude de données sur les pluies recueillies au cours de plus de 40 ans révèle une augmentation de la fréquence des épisodes de pluie extrêmes, tels qu'un épisode à période de récurrence de 25 ans (4 p.100 de probabilité quelle que soit l'année) qui pourrait maintenant se manifester environ tous les dix ans (10 p.100 de probabilité; Jakob *et al.*, 2003). Des chercheurs sont arrivés à la conclusion que l'augmentation observée de la fréquence des épisodes de pluie intenses pourrait être liée au changement de phase du PDO survenu en 1976. Pour l'instant, puisque la méthode utilisée pour obtenir des courbes de l'intensité et de la durée des précipitations en vue de la conception des réseaux d'égouts et de la gestion des eaux pluviales ne tient pas explicitement compte des oscillations climatiques, il se peut que ces courbes soient sous-estimées ou surestimées, selon le moment où on a recueilli la plupart des données sur les précipitations.

Jakob *et al.* (2003) ont également révélé des augmentations mesurables statistiquement de l'intensité et du volume des pluies non extrêmes, qu'ils ont considérées comme étant liées à un changement climatique de grande échelle. Ces augmentations, même si elles n'apportent rien à la conception des réseaux d'égouts, pourraient avoir des répercussions désavantageuses sur la santé des cours d'eau urbains et sur leurs populations de salmonidés. Ces effets seraient comparables à ceux de l'urbanisation et de la construction de surfaces dures (toits, routes, etc.) qui l'accompagne. Le modèle d'équilibre hydrologique pour le Canada et les lignes directrices du District régional du Grand Vancouver sur la conception des mesures de gestion des eaux pluviales (Lanarc Consultants, 2005), outils élaborés à l'intention des municipalités du District pour leur permettre de contrer les effets de l'urbanisation et du changement climatique sur les cours d'eau urbains (Hicks et von Euw, 2004), constituent une première étape vers la reconnaissance explicite et la prise en considération des répercussions du changement climatique, actuelles et futures, sur les infrastructures de la Colombie-Britannique. L'encadré 3 présente le point de vue des spécialistes sur la question et sur le rôle que peuvent jouer les mesures de gestion du risque.

ENCADRÉ 3

Changement climatique et gestion du risque : point de vue des spécialistes

(R. Hicks, P. Eng., membre du Water Sustainability Committee de la British Columbia Water and Waste Association)

Les administrations locales se doivent d'offrir à leurs collectivités des services essentiels, comme l'approvisionnement en eau potable, les rues et les routes, et l'aménagement du territoire, et des services généraux, dont les bibliothèques, le logement social et les parcs et les loisirs. Les municipalités et les districts régionaux forment la base des administrations locales de la Colombie-Britannique. Les « districts d'amélioration » constituent d'ailleurs un autre palier d'administration locale offrant des services limités et spécifiques à une fonction, comme l'alimentation en eau des régions rurales, la protection contre les inondations et la construction de digues.

Parmi les grands obstacles à l'adaptation au changement climatique figure la concurrence en matière de financement entre les priorités à court terme et la gestion du risque à long terme. Pour les collectivités dont l'assiette fiscale limitée est très sollicitée ou qui font face à des coûts importants des infrastructures de base, on peut se demander si elles auraient les moyens financiers ou même la volonté de s'attaquer en priorité aux répercussions du changement climatique, d'autant plus qu'il est difficile de quantifier les avantages à long terme des programmes d'adaptation au changement climatique et qu'on connaît encore mal les implications de ce changement.

Gestion du risque

Bien qu'il soit difficile pour les administrations locales de s'attaquer au changement climatique indépendamment des autres problèmes, ces dernières constituent des gestionnaires du risque expérimentés, en particulier en ce qui a trait à la fourniture des services publics et à l'entretien de leurs biens immobilisés (routes, ponts, édifices, canalisations). La durée de vie utile des routes, des réseaux d'adduction d'eau et d'égout, et des édifices communautaires varie entre environ 20 ans et un siècle ou plus. La gestion de ces biens prend en considération le risque d'interruption de service, le niveau de performance, la limitation des coûts d'exploitation ainsi que la planification et la budgétisation du remplacement et des réparations. C'est dans ce contexte que les instances locales sont bien placées pour tenir compte des répercussions du changement climatique en tant que risque supplémentaire lié à leur prestation de services municipaux.

Faire face aux risques du changement climatique liés à l'utilisation des terres et au zonage est plus délicat pour les administrations locales. Il est possible que certaines mesures d'adaptation sortent du mandat des municipalités et soient difficiles à mettre en œuvre. Sans justification impérieuse, les instances locales ne mettraient probablement pas en œuvre des programmes et des changements de zonage susceptibles d'affecter la valeur ou l'utilité de terrains privés.

La sensibilisation aux impacts du changement climatique et certaines compétences sont requises pour que les mesures d'adaptation soient introduites d'une manière efficace dans la planification et les procédures quotidiennes de gestion du risque de l'administration locale. Les périodes de récurrence, couramment utilisées pour déterminer les seuils de conception technique et les cibles de performance des réseaux de gestion des eaux pluviales, de drainage, d'égout et d'adduction d'eau, créent l'impression que les phénomènes à l'œuvre sont bien compris, mais cette impression est fausse, car les périodes de récurrence en question se fondent sur des phénomènes du passé. Elles figurent couramment dans les réglementations et les normes de pratique en ingénierie. Toutefois, les utiliser sans tenir compte du fait qu'elles seront modifiées par la variabilité et le changement du climat équivaudrait à conduire une voiture en regardant dans le rétroviseur – cela ne fonctionne qu'en ligne droite ! C'est pourquoi le recours aux périodes de récurrence pourrait faire prendre de mauvaises décisions à long terme et empêcher la municipalité de prendre des mesures d'adaptation proactives si on ne les replace pas dans le contexte du changement climatique.

5 CONCLUSIONS

5.1 PRINCIPAUX MESSAGES ET THÈMES

Les répercussions du changement climatique et les coûts des phénomènes extrêmes se font de plus en plus manifestes mais les actions et les mesures d'adaptation prises pour les contrer sont strictement de nature réactionnelle.

Même si des interactions océan-atmosphère bien connues, comme l'ENSO et le PDO, régissent les cycles climatiques à court et à long termes et les phénomènes météorologiques extrêmes en Colombie-Britannique, on a de fortes indications reliant le changement climatique planétaire à l'augmentation de la variabilité du climat et aux phénomènes extrêmes (*voir* les sections 2.1 et 2.3). Au cours du dernier siècle, la province s'est beaucoup réchauffée, en toutes saisons, et les projections des climats à venir semblent indiquer que cette tendance se maintiendra, le printemps et l'hiver devenant plus humides presque partout en Colombie-Britannique, et les étés, plus secs dans le sud et sur la côte (*voir* la section 2.2).

Des changements de la quantité et du type de précipitations, surtout plus de pluie et moins de neige, se manifestent déjà en Colombie-Britannique. Les sécheresses persistantes sont courantes en été. Les paléoenregistrements des climats révèlent que de graves sécheresses sont survenues plus fréquemment au cours des siècles passés que dans les dernières décennies (*voir* la section 2.1), ce qui semble indiquer que la Colombie-Britannique peut s'attendre à plus de sécheresses graves dans les années à venir, même en l'absence de changement climatique.

La plupart des glaciers alpins de la Colombie-Britannique reculent rapidement, et nombre d'entre eux pourraient disparaître dans les cent prochaines années (*voir* l'encadré 1). Ce phénomène, conjugué à la réduction de l'accumulation annuelle de neige et réchauffement des printemps, pourrait mener à un avancement des crues rapides au printemps, à un réchauffement des cours d'eau, à une diminution du débit en été et à une augmentation du débit de pointe dans de nombreux bassins hydrographiques de la Colombie-Britannique (*voir* la section 2.4). Les répercussions sur les approvisionnements en eau actuels et futurs, la production d'hydroélectricité, les pêches et l'intégrité des écosystèmes fluviaux de la Colombie-Britannique sont très préoccupantes. Ces changements poseront de nombreux

ENCADRÉ 3

Changement climatique et gestion du risque : point de vue des spécialistes

(R. Hicks, P. Eng., membre du Water Sustainability Committee de la British Columbia Water and Waste Association)

Les administrations locales se doivent d'offrir à leurs collectivités des services essentiels, comme l'approvisionnement en eau potable, les rues et les routes, et l'aménagement du territoire, et des services généraux, dont les bibliothèques, le logement social et les parcs et les loisirs. Les municipalités et les districts régionaux forment la base des administrations locales de la Colombie-Britannique. Les « districts d'amélioration » constituent d'ailleurs un autre palier d'administration locale offrant des services limités et spécifiques à une fonction, comme l'alimentation en eau des régions rurales, la protection contre les inondations et la construction de digues.

Parmi les grands obstacles à l'adaptation au changement climatique figure la concurrence en matière de financement entre les priorités à court terme et la gestion du risque à long terme. Pour les collectivités dont l'assiette fiscale limitée est très sollicitée ou qui font face à des coûts importants des infrastructures de base, on peut se demander si elles auraient les moyens financiers ou même la volonté de s'attaquer en priorité aux répercussions du changement climatique, d'autant plus qu'il est difficile de quantifier les avantages à long terme des programmes d'adaptation au changement climatique et qu'on connaît encore mal les implications de ce changement.

Gestion du risque

Bien qu'il soit difficile pour les administrations locales de s'attaquer au changement climatique indépendamment des autres problèmes, ces dernières constituent des gestionnaires du risque expérimentés, en particulier en ce qui a trait à la fourniture des services publics et à l'entretien de leurs biens immobilisés (routes, ponts, édifices, canalisations). La durée de vie utile des routes, des réseaux d'adduction d'eau et d'égout, et des édifices communautaires varie entre environ 20 ans et un siècle ou plus. La gestion de ces biens prend en considération le risque d'interruption de service, le niveau de performance, la limitation des coûts d'exploitation ainsi que la planification et la budgétisation du remplacement et des réparations. C'est dans ce contexte que les instances locales sont bien placées pour tenir compte des répercussions du changement climatique en tant que risque supplémentaire lié à leur prestation de services municipaux.

Faire face aux risques du changement climatique liés à l'utilisation des terres et au zonage est plus délicat pour les administrations locales. Il est possible que certaines mesures d'adaptation sortent du mandat des municipalités et soient difficiles à mettre en œuvre. Sans justification impérieuse, les instances locales ne mettraient probablement pas en œuvre des programmes et des changements de zonage susceptibles d'affecter la valeur ou l'utilité de terrains privés.

La sensibilisation aux impacts du changement climatique et certaines compétences sont requises pour que les mesures d'adaptation soient introduites d'une manière efficace dans la planification et les procédures quotidiennes de gestion du risque de l'administration locale. Les périodes de récurrence, couramment utilisées pour déterminer les seuils de conception technique et les cibles de performance des réseaux de gestion des eaux pluviales, de drainage, d'égout et d'adduction d'eau, créent l'impression que les phénomènes à l'œuvre sont bien compris, mais cette impression est fausse, car les périodes de récurrence en question se fondent sur des phénomènes du passé. Elles figurent couramment dans les réglementations et les normes de pratique en ingénierie. Toutefois, les utiliser sans tenir compte du fait qu'elles seront modifiées par la variabilité et le changement du climat équivaudrait à conduire une voiture en regardant dans le rétroviseur – cela ne fonctionne qu'en ligne droite ! C'est pourquoi le recours aux périodes de récurrence pourrait faire prendre de mauvaises décisions à long terme et empêcher la municipalité de prendre des mesures d'adaptation proactives si on ne les replace pas dans le contexte du changement climatique.

5 CONCLUSIONS

5.1 PRINCIPAUX MESSAGES ET THÈMES

Les répercussions du changement climatique et les coûts des phénomènes extrêmes se font de plus en plus manifestes mais les actions et les mesures d'adaptation prises pour les contrer sont strictement de nature réactionnelle.

Même si des interactions océan-atmosphère bien connues, comme l'ENSO et le PDO, régissent les cycles climatiques à court et à long termes et les phénomènes météorologiques extrêmes en Colombie-Britannique, on a de fortes indications reliant le changement climatique planétaire à l'augmentation de la variabilité du climat et aux phénomènes extrêmes (*voir* les sections 2.1 et 2.3). Au cours du dernier siècle, la province s'est beaucoup réchauffée, en toutes saisons, et les projections des climats à venir semblent indiquer que cette tendance se maintiendra, le printemps et l'hiver devenant plus humides presque partout en Colombie-Britannique, et les étés, plus secs dans le sud et sur la côte (*voir* la section 2.2).

Des changements de la quantité et du type de précipitations, surtout plus de pluie et moins de neige, se manifestent déjà en Colombie-Britannique. Les sécheresses persistantes sont courantes en été. Les paléoenregistrements des climats révèlent que de graves sécheresses sont survenues plus fréquemment au cours des siècles passés que dans les dernières décennies (*voir* la section 2.1), ce qui semble indiquer que la Colombie-Britannique peut s'attendre à plus de sécheresses graves dans les années à venir, même en l'absence de changement climatique.

La plupart des glaciers alpins de la Colombie-Britannique reculent rapidement, et nombre d'entre eux pourraient disparaître dans les cent prochaines années (*voir* l'encadré 1). Ce phénomène, conjugué à la réduction de l'accumulation annuelle de neige et réchauffement des printemps, pourrait mener à un avancement des crues rapides au printemps, à un réchauffement des cours d'eau, à une diminution du débit en été et à une augmentation du débit de pointe dans de nombreux bassins hydrographiques de la Colombie-Britannique (*voir* la section 2.4). Les répercussions sur les approvisionnements en eau actuels et futurs, la production d'hydroélectricité, les pêches et l'intégrité des écosystèmes fluviaux de la Colombie-Britannique sont très préoccupantes. Ces changements poseront de nombreux

défis aux gestionnaires des ressources hydriques et autres utilisateurs, et augmenteront le risque de conflits transfrontaliers et multisectoriels concernant l'utilisation de l'eau (*voir* la section 3.1).

Les mouvements géologiques vont compenser ou aggraver les tendances planétaires de l'élévation du niveau de la mer sur la côte de la Colombie-Britannique. À cette élévation s'ajouteront les niveaux extrêmes d'eau de plus en plus élevés associés à des phénomènes découlant de la variabilité du climat. L'érosion plus rapide des côtes et l'inondation représenteront des risques permanents et croissants pour les collectivités et les infrastructures de la Colombie-Britannique (*voir* les sections 2.5 et 4.1).

La fréquence et les coûts de la plupart des phénomènes météorologiques extrêmes et des dangers naturels qui les accompagnent (p. ex., tempêtes côtières, ondes de tempête, feux de forêt, sécheresses, glissements de terrain) augmentent déjà (*voir* la section 2.3). En Colombie-Britannique, la plupart des mesures d'adaptation liées au climat sont des réactions à des « surprises », comme la prolifération sans précédent du dendroctone du pin ponderosa et les graves feux de forêt de 2003. Les exemples d'adaptation planifiée précisément en fonction du changement climatique sont rares, d'une part parce qu'on perçoit peu le changement climatique comme un risque pour les moyens de subsistance, les activités et l'économie de la Colombie-Britannique, d'autre part en raison du fait que, puisque la capacité disponible est restreinte, d'autres priorités se font une rude concurrence pour y avoir droit. Toutefois, comme le changement climatique n'est que l'un des nombreux facteurs de stress qui agissent sur les industries, les collectivités et les écosystèmes de la province, une approche prise en fonction d'impacts cumulatifs pourrait s'avérer plus appropriée à la planification de l'adaptation. Plusieurs exemples d'études et d'évaluations récentes du risque menées par des chercheurs, des groupes communautaires et des décideurs de la Colombie-Britannique (*voir* la section 4) représentent une première étape importante vers l'adoption d'une approche d'ensemble à la mise en place de mesures d'adaptation planifiées. Les collectivités dans toute la province sont de plus en plus sensibles aux répercussions actuelles et possibles du changement climatique et comprennent davantage le besoin d'avoir recours à des mesures d'adaptation et d'atténuation.

La gestion de pénuries d'eau de fréquence et de gravité croissantes impliquera des compromis complexes et exigera que le changement climatique soit davantage pris en considération.

Le recul des glaciers, la diminution de l'accumulation annuelle de neige, l'augmentation des sécheresses et les changements du volume et de la période des précipitations limiteront de plus en plus l'approvisionnement en eau durant les périodes de pointe de la demande aux fins de production d'hydroélectricité, d'agriculture et de fourniture d'eau potable, bien qu'une telle mesure risque d'être partiellement contrebalancée par une augmentation des précipitations dans certaines régions. Environ 78 p.100 de la population de la Colombie-Britannique dépend des eaux de surface pour l'eau potable, alors que 89 p.100 de l'électricité de la province est produite par de l'eau (*voir* les sections 3.1 et 3.7). La diminution de l'approvisionnement en eau soulèvera donc de nombreux problèmes de gestion, en particulier dans les régions à croissance rapide comme le District régional du Grand Vancouver, le District régional de la capitale (c.-à-d. Victoria et les municipalités environnantes) la région de l'Okanagan, et même dans certaines petites collectivités comme Tofino. L'augmentation des conflits entre l'approvisionnement et la demande exigera des compromis entre des usages ou des valeurs comme, par exemple, entre le maintien de débits minimums afin de protéger l'habitat des poissons importants pour la pêche et la satisfaction des besoins en irrigation du secteur agricole.

Depuis les années 1980, les principaux centres urbains de la Colombie-Britannique ont connu plusieurs étés de sécheresse et de sérieuses pénuries d'eau. Les approvisionnements en eau potable risquent de devenir très sollicités dans le District régional du Grand Vancouver et le District régional de la capitale. Il faudra prévoir d'importantes améliorations des infrastructures et des stratégies de gestion des approvisionnements pour l'avenir (*voir* la section 4.4.1). Les petites régions à croissance rapide feront face aux mêmes préoccupations (p. ex., Tofino-Ucluelet). Le District régional de la capitale a récemment entrepris des travaux importants en vue d'augmenter la capacité de stockage de sa principale source d'eau, le réservoir Sooke. Afin d'éviter d'avoir à investir dans d'importants nouveaux travaux d'infrastructure, le District régional de la capitale mettra plutôt en œuvre des mesures agressives de gestion de la demande afin de pouvoir satisfaire cette dernière pendant au moins 50 ans. Le District régional du Grand Vancouver est également conscient des défis posés par l'augmentation de la demande et les impacts du changement climatique, et planifie en vue d'augmenter sa capacité de stockage de l'eau et d'améliorer sa gestion de la demande.

La production d'hydroélectricité de la Colombie-Britannique est présentement vulnérable à la diminution de l'approvisionnement en eau et aux modifications des débits fluviaux, surtout dans le bassin du fleuve Columbia, d'où provient plus de la moitié de toute l'hydroélectricité de la province. On s'attend à ce que, d'ici à 2025, la demande en électricité de la Colombie-Britannique ait augmenté de 30 p.100 à 60 p.100 par rapport à 2005. Les objectifs visés dans le plan énergétique de la Colombie-Britannique récemment publié prévoient de répondre à 50 p. 100 de la croissance moyenne à l'aide de mesures de conservation et d'efficacité, et de produire au moins la moitié de la nouvelle énergie au moyen de sources renouvelables, comme l'énergie éolienne, l'énergie géothermique, la biomasse et l'hydroélectricité. Le lien entre le changement climatique et l'eau va devenir un sujet de considération de plus en plus important si l'on espère parvenir à mettre en œuvre les nombreuses stratégies cruciales de production d'énergie et d'atténuation présentées dans le plan.

Les structures institutionnelles et de planification en place ne tiennent pas compte, pour la plupart, de la variabilité actuelle du climat ni du changement climatique appréhendé dans la gestion des ressources hydriques. Il est possible d'intégrer le problème du changement climatique aux processus de planification à l'échelle communautaire, d'utilisation des terres ou de gestion des ressources.

Les infrastructures essentielles de la Colombie-Britannique sont aux prises avec des problèmes immédiats et des menaces à long terme imputables au changement et à la variabilité du climat.

Les phénomènes météorologiques extrêmes et les dangers naturels qui les accompagnent sollicitent déjà les infrastructures essentielles de la Colombie-Britannique, et ces répercussions devraient augmenter avec la poursuite du changement climatique. À bien des endroits, les infrastructures essentielles, y compris les canalisations,

les lignes de transport de l'électricité et de communication et les réseaux de transport, se situent dans des vallées ou des zones côtières étroites, où elles sont vulnérables aux perturbations causées par les glissements de terrain, les tempêtes côtières, les ondes de tempêtes les inondations et les incendies de forêt. Peu de recherches concernant les impacts du changement climatique sur les réseaux d'infrastructures essentielles de la Colombie-Britannique ont été entreprises, alors que les frais d'assurances et les coûts des interventions et des sauvetages en cas d'urgence vont en augmentant (*voir* la section 3.8).

Des collectivités du centre et du nord, comme Prince George, signalent une augmentation des coûts d'entretien des routes et de lutte contre les inondations directement ou indirectement liés à l'évolution du climat. Les plans de gestion des eaux pluviales du District régional du Grand Vancouver tiennent maintenant compte des répercussions du changement climatique (*voir* la section 4.4.2).

L'analyse des coûts sur le cycle de vie, les statistiques sur les périodes de récurrence des phénomènes extrêmes et les normes d'ingénierie exercent toutes une influence sur les décisions de gestion concernant le moment et les modalités de l'entretien et du remplacement des infrastructures. La mise à jour de ces analyses, statistiques et normes de conception afin de tenir compte des répercussions et des tendances du changement climatique permettra aux gestionnaires de mieux planifier en fonction des changements à venir. Il subsiste cependant des contraintes institutionnelles étant donné que bon nombre des normes et des politiques qui guident les décisions en matière d'infrastructures n'ont recours qu'à des données climatologiques antérieures.

Les forêts, et l'industrie et les collectivités forestières de la Colombie-Britannique qui en dépendent, sont vulnérables à l'augmentation des risques liés au climat.

Le secteur forestier demeure la pierre angulaire de l'économie de la Colombie-Britannique. Les ressources forestières de la province sont vulnérables à un grand nombre de répercussions liées à l'évolution du climat, y compris les feux de forêt, les ravageurs, les maladies et les modifications subies par les écosystèmes. On prévoit que les conditions favorables aux feux de forêt vont se manifester de plus en plus fréquemment (*voir* les sections 2.3 et 3.3) et se solderont par une augmentation des risques connexes pour la santé (*voir* la section 3.9), ainsi que des risques d'inondations et de glissements de terrain consécutifs aux feux de friche (*voir* la section 3.3).

La prolifération actuelle du dendroctone du pin ponderosa (DPP) touche près de 10 p.100 du territoire de la Colombie-Britannique. Les 9,2 millions d'hectares qu'elle touchait en 2006 font qu'elle a atteint des proportions sans précédent par son étendue et sa durée (*voir* la section 4.2). Les activités passées de suppression et de gestion des incendies de forêt, les sécheresses des années 1990 et le réchauffement des hivers ont créé les conditions favorables à cette prolifération, qui a maintenant pénétré dans la forêt boréale du nord-est de la Colombie-Britannique; on prévoit en outre que le climat futur en favorisera très probablement l'expansion vers l'est, jusque dans la forêt boréale.

Les collectivités réagissent rapidement à l'infestation de DPP. Vanderhoof, dans le centre-nord de la Colombie-Britannique, explore des options d'adaptation afin de gérer les possibilités qui se présentent à mesure que la collectivité passera de l'économie pré-DPP à une économie post-DPP (*voir* la section 4.2.1). Prince George est entoure de forêts dévastées par le DPP et, comme d'autres collectivités de l'intérieur, elle connaît un regain d'activité économique grâce aux activités de récolte de récupération qui permettent un gain économique à court terme, mais auront des conséquences économiques, hydrologiques et écologiques à long terme. Les urbanistes de Prince George s'inquiètent de l'augmentation du potentiel de débordement de la rivière Nechako et du Fraser à mesure que les arbres sont retirés des bassins environnants. Un bon nombre de collectivités qui dépendent de la forêt seront confrontées à des difficultés économiques importantes une fois que l'exploitation en cours aura éliminé tous les arbres tués par le DPP, car le renouvellement de la ressource prendra près d'une génération.

Étant donné la durée de la croissance des arbres avant qu'ils soient prêts à être récoltés, il se trouve qu'une grande partie de la ressource qui va soutenir l'industrie et les collectivités forestières pendant les prochaines décennies est déjà dans le sol. Les options d'aménagement forestier sont limitées si la productivité du site est touchée et que les espèces existantes se révèlent mal adaptées aux nouvelles conditions climatiques. De même, l'industrie a beaucoup investi dans de grosses pièces d'équipement et d'imposantes installations de transformation qui sont difficiles et coûteuses à adapter. Ces longues périodes d'investissement augmentent le risque et l'incertitude du secteur et des collectivités qui en dépendent face aux répercussions du changement climatique et à des problèmes comme la concurrence du marché international.

Le ministère des Forêts et des Pâturages de la Colombie-Britannique a élaboré un projet sur les écosystèmes forestiers de l'avenir qui intègre l'adaptation au changement climatique dand la gestion des forêts (*voir* la section 4.2.2). Cette initiative est une première étape vers une planification forestière à long terme qui tienne compte du changement climatique en conjonction avec d'autres contraintes, notamment la concurrence internationale, la santé des forêts, l'augmentation de la fréquence des incendies de forêt et l'évolution des conditions sociales et économiques.

Les stress qui s'exercent actuellement sur les pêches de la Colombie-Britannique seront aggravés par le changement climatique.

L'importance sociale, culturelle et écologique du secteur des pêches en Colombie-Britannique dépasse de loin sa contribution relativement modeste au PIB provincial. La pêche est particulièrement importante pour les collectivités côtières et les Premières nations, attire des milliers de touristes intéressés par la pêche sportive et constitue un indicateur clé de la qualité de l'eau et de la santé de l'écosystème. La plupart des méthodes traditionnelles de capture sont stables ou en déclin, mais l'aquaculture poursuit une croissance régulière (*voir* la section 3.2).

Le saumon surpasse de loin les autres espèces en termes d'importance sociale, économique et culturelle en Colombie-Britannique. La pêche côtière du saumon est déjà soumise au stress d'une combinaison de facteurs, dont la perte d'habitat dans les bassins de fraye et la surpêche. Le changement climatique aggravera ce stress à mesure que les températures de l'eau s'élèveront et par l'effet indirect sur d'autres secteurs, comme l'influence de la mortalité des arbres infestés par le DPP sur l'hydrologie. La migration vers le nord d'espèces exotiques de poissons en provenance des eaux plus chaudes du sud menace déjà les saumoneaux durant les épisodes El Niño chauds. Le réchauffement de l'océan, qui se poursuivra avec le changement climatique,

représente une menace plus grave et plus durable pour la pêche au saumon et autres pêches côtières.

Les populations de poissons de l'intérieur, y compris le saumon migrateur, sont sensibles aux élévations de la température et aux changements du niveau de l'eau des lacs et des rivières. Les répercussions du changement climatique sur les ressources hydriques constituent une grande préoccupation pour les pêches de l'intérieur (*voir* la section 4.3.3). Les garanties constitutionnelles d'accès aux pêches accordées aux Premières nations confèrent à ce secteur une certaine priorité. La gestion des conflits entre les besoins de débits minimums pour le poisson, la production d'hydroélectricité, l'irrigation et la consommation à usage domestique va probablement augmenter avec la poursuite du changement climatique et dans le cadre de négociations de traités à venir.

L'adaptation au changement climatique du secteur des pêches consiste surtout en mesures de gestion destinées à protéger ou à améliorer les stocks. Les mesures d'adaptation possibles comprennent entre autres : réduire le taux de récolte, mieux protéger et restaurer l'habitat, augmenter la production de saumon en écloseries, attribuer des permis et régulariser les réseaux hydrologiques, promouvoir un développement accéléré de l'aquaculture et diversifier les pêches afin de tirer avantage des espèces de durées de vie courte et longue ainsi que des espèces exotiques, à mesure que les pêches monospécifiques diminueront.

Le changement climatique entraînera quelques avantages mais aussi des menaces croissantes pour le secteur agricole de la Colombie-Britannique.

Tout comme le secteur des pêches, l'agriculture ne contribue que modestement à l'économie de la Colombie-Britannique, mais ses avantages indirects et les emplois qu'elle crée sont importants. Le secteur agricole, en particulier la viticulture et la production de fruits, est un élément lucratif du tourisme dans des régions comme la vallée de l'Okanagan. L'élevage et les cultures occupent également une place importante dans de nombreuses régions rurales. Les terres qui conviennent à l'agriculture en Colombie-Britannique se limitent à environ 4,5 p.100 du territoire (environ 4,7 millions d'hectares) dont une grande partie est protégée aux termes de la réserve agricole de la Colombie-Britannique (*voir* la section 3.4). Dans la province, la plus grande menace du changement climatique pour l'agriculture est son effet sur les ressources en eau, dû non seulement à la rareté croissante de l'eau et aux sécheresses prolongées, mais également à la concurrence accrue que représentent les autres utilisations de l'eau. L'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes, les dangers naturels qui les accompagnent, de même que les proliférations de ravageurs et de maladies, sont également des sources de préoccupation.

Le changement climatique pourrait, par contre, être bénéfique pour l'agriculture en Colombie-Britannique du fait que la saison de croissance sera plus longue et les hivers plus doux, entraînant ainsi une augmentation de l'étendue et du nombre de cultures économiquement viables que la région pourrait soutenir (*voir* la section 3.4). Les avantages de cette situation pourraient être diminués par des contraintes s'exerçant au niveau de la capacité réduite des sols, de l'apport en eau, des infrastructures d'irrigation et de la distance de transport vers les marchés. Les vallées isolées dont les terres sont de bonne qualité (p. ex., Bella Coola) sont susceptibles d'être celles qui en profiteraient le plus. L'adoption de nouvelles cultures potentiellement plus lucratives dans les régions agricoles existantes a également été envisagée, mais celles-ci seront confrontées à des problèmes de développement et de disponibilité de l'eau semblables à ceux qui touchent déjà les cultures en place, auxquels vient s'ajouter le risque que pose le changement climatique.

L'expérience acquise par les agriculteurs face à la variabilité du climat et aux phénomènes météorologiques extrêmes, aux maladies, aux pertes de récolte et aux fluctuations du marché leur a conféré une très grande capacité d'adaptation au changement climatique. Leurs stratégies comprennent à la fois des approches à court et à long termes, la diversification des cultures, le cas échéant, et de nouvelles techniques de transformation des produits agricoles. Les programmes de soutien conçus pour aider les agriculteurs à gérer les risques liés aux fluctuations du marché et les pertes occasionnelles de récolte sont une bonne protection en cas de pertes causées par la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes, mais ils pourraient également les encourager à ne pas prendre les mesures nécessaires pour s'adapter à un changement climatique à plus long terme.

L'intégration du changement climatique à la prise de décision est une occasion de réduire les coûts et les répercussions à long terme du changement climatique sur les collectivités et l'économie de la Colombie-Britannique.

Améliorer la capacité d'adaptation et mettre en œuvre des mesures d'adaptation au changement climatique ne nécessite pas de gérer ou de planifier les ressources ou les infrastructures d'une manière totalement différente. Au contraire, il est possible d'améliorer l'efficacité et de réduire les coûts de l'adaptation aux impacts du changement climatique en intégrant les informations sur le changement climatique dans les processus de planification, de gestion et de prise de décisions déjà en place. Les ensembles de données, les modèles de simulation et les scénarios actuels, de même que les prévisions climatiques saisonnières qui tiennent compte du changement climatique et de ses répercussions, peuvent éclairer les décisions courantes en matière de gestion et de planification (*voir* les sections 2.1 et 2.2).

À l'heure actuelle, on tient indirectement compte du changement climatique dans divers contextes pour éclairer ou orienter les prises de décision. L'expérience de l'Okanagan illustre l'importance de transposer les scénarios du changement climatique et de ses répercussions en termes pertinents aux efforts de planification et de gestion à l'échelle régionale (*voir* la section 4.3.1). À Vanderhoof, on a entrepris un projet-pilote communautaire d'élaboration et de mise à l'essai de méthodes permettant d'évaluer les vulnérabilités et la capacité d'adaptation face aux changements des forêts à l'aide de modèles de simulation, de sondages et d'entrevues recueillis au sein de la collectivité (*voir* la section 4.2.1). De même, des chercheurs collaborent avec des conseillers, des planificateurs et des ingénieurs de la corporation de Delta afin de comprendre les répercussions des ondes de tempête et de l'élévation du niveau de la mer (*voir* la section 4.1.2), et la vulnérabilité de la région à ces phénomènes. Ce type de recherche communautaire est considéré comme une première étape importante de l'intégration du changement climatique dans la planification à l'échelle locale et régionale.

Les districts régionaux les plus populeux de la Colombie-Britannique mettent en œuvre des projets de développement durable et d'atténuation du changement climatique, dont certains rendent l'adaptation avantageuse. Il s'agit entre autres de mesures de conservation de l'eau et de l'énergie, notamment la conception de

caractéristiques, de matériaux, de pièces d'équipement et de procédés qui utilisent ou recyclent l'énergie et l'eau sur place. Ces pratiques réduisent les émissions de gaz à effet de serre du secteur de la construction (atténuation) et font en sorte que les infrastructures et les ressources de la ville sont moins sollicitées (adaptation).

En Colombie-Britannique, les vulnérabilités et la capacité d'adaptation varient beaucoup d'une région, d'une échelle et d'un secteur économique à l'autre.

Il existe de grandes différences entre les régions rurales et urbaines de la Colombie-Britannique en ce qui a trait à la vulnérabilité et à la capacité d'adaptation au changement climatique, différences qui tiennent essentiellement de la dépendance économique. La dépendance à l'égard des ressources naturelles est plus prononcée dans les collectivités rurales et côtières éloignées, alors que les régions urbaines jouissent d'économies plus diversifiées.

Vancouver et, à un moindre degré, Victoria ont des économies de plus en plus diversifiées, axées sur l'information, la technologie, le tourisme et le secteur des services qui s'y rattachent, en conjonction avec des volets transport, finances, ports et gouvernement. Leur dépendance vis-à-vis des ressources de la Colombie-Britannique est indirecte et, même si elle demeure importante, est largement surpassée par les moteurs économiques post industriels. Par contraste, la Colombie-Britannique rurale demeure largement tributaire des ressources naturelles, en particulier de l'exploitation forestière et de la pêche. La durabilité des collectivités rurales dépendra donc, pour une large part, de leur réaction aux changements que subiront leurs ressources de base. Cette réaction devra comporter une gestion planifiée, tant des risques que des nouvelles possibilités. On voit des collectivité s'adapter à la nouvelle économie mondiale en contournant leur dépendance vis à vis des centres métropolitains, phénomène qui révèle une capacité croissante de faire face au changement en général et de gérer la dépendance vis-à-vis des ressources en particulier (*voir* la section 1.4).

Dans les collectivités côtières éloignées, la résilience et la capacité d'adaptation proviennent de plusieurs sources, notamment : 1) la vigueur des institutions locales et régionales; 2) les modes de développement social et économique à l'échelle locale; 3) la nature et l'état des infrastructures essentielles; 4) leur degré d'expérience à faire face aux phénomènes météorologiques extrêmes et l'exposition passée à d'autres formes de changement environnemental et socio-économique. En outre, la diversification en matière de revenus, l'auto-suffisance, le bénévolat et un tissu social résistant et cohésif sont autant de facteurs importants qui contribuent tous, à leur façon, à la capacité des collectivités éloignées à s'adapter à des problèmes plus vastes comme le changement climatique (*voir* la section 4.1.1).

Des facteurs sociaux, culturels et économiques peuvent limiter la capacité d'entreprendre des mesures d'adaptation au changement climatique à l'échelle communautaire. Bon nombre de collectivités côtières et rurales de la Colombie-Britannique connaissent présentement des difficultés sociales et économiques importantes causées par des préoccupations multiples. La résilience fondée sur le capital social et une forte cohésion sociale permet à certaines collectivités de faire face à ces préoccupations, même lorsque d'autres attributs de la capacité d'adaptation sont limités (p. ex., accès au capital physique et financier, à la technologie, aux compétences et à d'autres ressources). Le principal défi, pour améliorer la capacité d'adaptation en ces lieux, sera de s'appuyer sur les initiatives qui s'attaquent actuellement aux changements économiques et environnementaux en prenant en considération le changement climatique.

5.2 RENFORCEMENT DE LA CAPACITÉ D'ADAPTATION

Les mesures visant à améliorer la capacité d'adaptation doivent être pertinentes à l'échelle régionale et, souvent, s'appuyer sur des forces, des programmes et des attributs de la communauté déjà en place. Le renforcement de la capacité d'adaptation exige une communication efficace entre les collectivités, d'autres paliers de gouvernement et les chercheurs, ce qui implique à la fois de mettre en commun les connaissances et de mettre au point des outils et autres ressources à l'intention des gestionnaires responsables de la prise de décisions à l'échelle régionale et locale. Il faut transmettre l'idée et les objectifs du renforcement de la capacité d'adaptation ainsi que les informations nécessaires à une meilleure planification des ressources, des collectivités et des écosystèmes. Dans certains cas, il faudra recueillir plus d'informations; dans d'autres, c'est l'accès à ces informations, et leur diffusion, qu'il faudra améliorer. Par exemple, il serait utile de poursuivre les recherches sur les impacts du changement climatique et sur l'adaptation à ce changement dans les secteurs économiques, en particulier en ce qui a trait aux phénomènes extrêmes, ainsi que d'assurer une surveillance des principaux éléments du climat et des variables de nature environnementale (p. ex., glaciers, eaux souterraines, mesure des débits des cours d'eau, niveaux des eaux côtières, et érosion et sédimentation côtières océanographie, cartographie des plaines inondables, feux de friche et propagation des ravageurs).

La mise au point de méthodes et d'outils de diffusion et d'utilisation de ces données est aussi importante que l'enrichissement de la base de connaissances actuelle. Le lien vital consiste à rendre les informations accessibles en les diffusant dans un contexte et avec une formulation au diapason des problèmes et des préoccupations de ceux qui effectueront l'adaptation, notamment les urbanistes et les ingénieurs, les gestionnaires de ressources et le secteur industriel, ainsi que les dirigeants gouvernementaux et autochtones, en d'autres mots tous ceux qui sont directement responsables de la mise en œuvre des mesures d'adaptation.

Enfin, il est important d'explorer davantage et de mieux comprendre les aspects sociaux et culturels qui étayent la gouvernance à l'échelle locale, particulièrement la composition et la fonction d'institutions locales telles que les gouvernements municipaux, les districts régionaux et les conseils des Premières nations, les instances responsables de la planification et de la santé, les services d'ingénierie et les organismes qui assurent la gestion des ressources. Les intérêts locaux et régionaux, ainsi que les institutions et les organisations qui les soutiennent, fournissent le contexte au sein duquel les politiques et les plans en matière d'adaptation seront présentés et mis en œuvre. Une bonne compréhension de la façon dont les institutions sont établies et fonctionnent dans le milieu local et régional constitue un élément décisif, susceptible d'avoir une incidence sur l'acquisition de nouveaux éléments d'information et de connaissances, et d'établir, en fin de compte, si les mesures d'adaptation proactives qui auront été adoptées se solderont par un succès ou un échec.

RÉFÉRENCES

Abeysirigunawardena, D.S. et I.J. Walker. « Sea level response to climate variability and change in northern British Columbia », *Atmosphere-Ocean*, sous presse.

Agee, J.K. Fire ecology of Pacific northwest forests; Island Press, Washington, DC, 1993, 490 p.

Ahern, M., R.S. Kovats, P. Wilkinson, R. Few et F. Matthies. « Global health impacts of floods: epidemiologic evidence », *Epidemiologic Reviews*, vol. 27, 2005, pp. 36–47.

Alexander, C.A.D., B. Symonds et K. Hyatt (éd.). *The Okanagan fish/water management tool v 1.0.081: guidelines for apprentice water managers*, rapport inédit rédigé pour le Canadian Okanagan Basin Technical Working Group, Kamloops, Colombie-Britannique et le Douglas County Public Utility District No. 1, East Wenatchee, Washington, 2005, 114 p.

Allan, J.C. et P.D. Komar. « Extreme storms on the Pacific northwest coast during the 1997–8 El Nino and 1998–9 La Niña », *Journal of Coastal Research*, vol. 18, 2002, pp. 175–193.

Allen, D.M. « Determining the origin of groundwater using stable isotopes of 18O, 2H and 34S », *Ground Water*, vol. 42, nº 1, 2004, pp. 17–31.

American Meteorological Society. « Statement on seasonal to interannual climate prediction », *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2001, vol. 82, pp. 701.

Andrusak, H., S. Matthews, I. McGregor, K. Ashley, G. Wilson, L. Vidmanic, J. Stockner, D. Sebastian, G. Scholten, P. Woodruff, P. Cassidy, J. Webster, K. Rood et A. Kav. *Okanagan Lake Action Plan Year 6 (2001)* Report, BC Ministry of Water, Land and Air Protection, Fisheries Management Branch, Fisheries Project Report No. RD 96, 2002.

Anonyme. *Canada–British Columbia Okanagan Basin Agreement*, BC Water Resources Service, sommaire et schéma détaillé rédigé par le conseil consultatif, 1974, 49 p.

Association des produits forestiers du Canada. *Intendance environnementale : changements climatiques*, Association des produits forestiers du Canada, 2006, <http://www.fpac.ca/fr/forets_et_durabilite/stewardship/climate_change.php>, [consultation : 18 mai 2007].

Barnett, J. « Adapting to climate change in Pacific Island countries: the problem of uncertainty », *World Development*, vol. 29, nº 6, 2001, pp. 977–993.

Barnett, T.P., J.C. Adams et D.P. Lettenmaier. « Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions », *Nature*, vol. 438, 2005, pp. 303–309.

Barrie, J.V. et K.W. Conway. « Rapid sea level changes and coastal evolution on the Pacific margin of Canada », *Journal of Sedimentary Geology*, vol. 150, 2002, pp. 171–183.

Baxter, D. et A. Ramlo. *Resource dependency: the spatial origins of British Columbia's economic base*, The Urban Futures Institute, Vancouver (Colombie-Britannique), 2002, 30 p.

BC Centre for Disease Control. *Health advisory (June 5, 2005): fungal infection found in Vancouver Coastal and Fraser health regions*, BC Centre for Disease Control, Vancouver (Colombie-Britannique), 2005, 2 p., <http://www.cher.ubc.ca/Cryptococcus/PDFs/cryptococcal_advisory_june2_2005.pdf>, [consultation : 16 mai 2007].

BC Council of Tourism Associations. *BC's Solicitor General allays forest fire concerns*, BC Council of Tourism Associations, Tourism News Archive, août 2004, Vancouver (Colombie-Britannique), 2004, <http://www.cotabc.com/news/tourism_news_archive.aspx?year=2004&month=8>, [consultation : 16 mai 2007].

BC Hydro. *Committee report: Peace Water Use Plan*, BC Hydro, Vancouver, Colombie-Britannique, 2004, 14 p., sommaire disponible en ligne à <http://www.bchydro.com/environment/wateruse/wateruse30860.html>, [consultation : 16 mai 2007].

BC Hydro. *2006 integrated electricity plan and long term acquisition plan*, BC Hydro, Vancouver (Colombie-Britannique), 2006, 396 p., <www.bchydro.com/rx_files/info/info43514.pdf>, [consultation : 10 mai 2007].

BC Ministry of Agriculture and Lands. *Land and resource management planning: a statement of principles and process*, BC Ministry of Agriculture and Lands, Integrated Land Management Bureau, Integrated Resource Planning Committee, 1993, 1 p., <http://ilmbwww.gov.bc.ca/lup/policies_guides/lrmp_policy/stmt.htm>, [consultation : 16 mai 2007].

BC Ministry of Agriculture and Lands. *British Columbia's fisheries and aquaculture sector, 2002 edition*, BC Ministry of Agriculture and Lands, Fisheries Statistics, 2002, <www.agf.gov.bc.ca/fish_stats/statistics.htm>, [consultation : 16 mai 2007].

BC Ministry of Agriculture and Lands. *An overview of the British Columbia grape industry*, BC Ministry of Agriculture and Lands, Decembre 2004, 35 p., <www.agf.gov.bc.ca/grape/publications/documents/overview_grapes_dec2004.pdf>, [consultation : 16 mai 2007].

BC Ministry of Agriculture and Lands. *About the agriculture industry: industry significance ... some facts*, BC Ministry of Agriculture and Lands, 2005a <http://www.agf.gov.bc.ca/aboutind/somefact.htm>, [consultation : 16 mai 2007].

BC Ministry of Agriculture and Lands. *Fast stats agriculture and food*, BC Ministry of Agriculture and Lands, Policy and Economics Branch, 2005b, 32 p., <http://www.agf.gov.bc.ca/stats/index.htm>, [consultation : 16 mai 2007].

BC Ministry of Energy Mines and Petroleum Resources. *Energy Efficiency Act*, BC Ministry of Energy Mines and Petroleum Resources, 2006, <http://www.em.gov.bc.ca/AlternativeEnergy/EnergyEfficiency/Energy_Efficiency_Act.htm>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Energy Mines and Petroleum Resources. *BC energy plan: a vision for clear energy leadership*, BC Ministry of Energy Mines and Petroleum Resources, 2007, 40 p., <http://www.energyplan.gov.bc.ca/PDF/BC_Energy_Plan.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Environment. *Salmon aquaculture review - Report of the Environmental Assessment Office*, Volume 1, BC Ministry of Environment, Environmental Assessment Office, 1997a, 311 p., <http://www.eao.gov.bc.ca/epic/output/html/deploy/epic_document_20_6045.html>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Environment. *Salmon Aquaculture Review report — First Nations perspectives*, volume 2, BC Ministry of Environment, Environmental Assessment Office, 1997b, 87 p., <http://www.eao.gov.bc.ca/epic/output/html/deploy/epic_document_20_6046.html>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Environment. « Habitat atlas for wildlife at risk, South Okanagan and Lower Similkameen », dans *Proceedings of a Conference on the Biology and Management of Species and Habitats at Risk*, conférence tenue du 15 au 19 février 1999 à Kamloops, Colombie-Britannique, L.M. Darling (éd.); BC Ministry of Environment, Lands and Parks et University College of the Cariboo, Kamloops (Colombie-Britannique), vol. 2, 1998, 520 p., <http://wlapwww.gov.bc.ca/sir/fwh/wld/atlas/introduction/intro_index.html>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Environment. *Weather, climate and the future: BC's plan*, BC Ministry of Environment, 2004, 42 p., <http://www.env.gov.bc.ca/air/climate/cc_plan/pdfs/bc_climatechange_plan.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Environment. *British Columbia's coastal environment: 2006*, BC Ministry of Environment, 2006 <http://www.env.gov.bc.ca/soe/bcce/>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Environment, Lands and Parks. « Groundwater management », dans *Stewardship of the Water of British Columbia: a Review of British Columbia's Water Management Policy and Legislation*, Section 1, BC Ministry of Environment, Lands and Parks, 1993.

BC Ministry of Forests. *MPB salvage, hydrology recommendations: recommended operational procedures to address hydrological concerns*, BC Ministry of Forests, 2005, 7 p., <http://www.for.gov.bc.ca/hfp/mountain_pine_beetle/stewardship/Hydrological%20Recommendations%20Dec%203%202004.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Forests and Range. *Preparing for climate change: adapting to impacts on British Columbia's forest and range resources*, BC Ministry of Forests and Range, 2006, 94 p., <http://www.for.gov.bc.ca/mof/Climate_Change/Preparing_for_Climate_Change.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Forests and Range. *2006 summary of forest health conditions in British Columbia*, BC Ministry of Forests and Range, 2007, 73 p., <http://www.for.gov.bc.ca/ftp/HFP/external/!publish/Aerial_Overview/2006/Aer_OV_final.pdf>, [consultation : 9 mai 2007].

BC Ministry of Health. *Healthy British Columbia: British Columbia's report on nationally comparable health indicators*, BC Ministry of Health, 2004, 75 p., <http://www.healthservices.gov.bc.ca/cpa/publications/pirc_2004.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Health. *BC Health files: hantavirus pulmonary syndrome (HPS)*, BC Ministry of Health, HealthFile #36, juillet 2005, 2 p., <http://www.bchealthguide.org/healthfiles/hfile36.stm>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Health Planning et BC Ministry of Health Services. *Action plan on safe drinking water in British Columbia*, BC Ministry of Health Planning et BC Ministry of Health Services, 2001, 12 p., <http://www.healthservices.gov.bc.ca/cpa/publications/safe_drinking_printcopy.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Health Services. *Air quality in British Columbia, a public health perspective*, BC Ministry of Health Services, rapport annuel 2003 de l'Agent provincial de la santé, 2004, 137 p., <http://www.healthservices.gov.bc.ca/pho/pdf/phoannual2003.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Labour and Citizens Services. *1996 census profile*, BC Ministry of Labour and Citizens' Services, BC Stats, 1997, 16 p., <http://www.bcstats.gov.bc.ca/data/dd/c96drdat.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Labour and Citizens' Services. *British Columbia's fisheries and aquaculture sector*, BC Ministry of Labour and Citizens' Services, BC Stats, 2002, 103 p., <http://www.bcstats.gov.bc.ca/data/bus_stat/busind/fish.asp>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Labour and Citizens' Services. *Quick facts about British Columbia*, BC Ministry of Labour and Citizens' Services, BC Stats, 2004, 12 p., <http://www.bcstats.gov.bc.ca/data/qf.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Labour and Citizens' Services. *British Columbia population forecast – 05/12, Table 1: summary statistics*, BC Ministry of Labour and Citizens' Services, BC Stats, 2005a, <http://www.bcstats.gov.bc.ca/DATA/pop/pop/project/bctab1.asp>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Labour and Citizens' Services. *Tourism industry monitor annual 2005*, BC Ministry of Labour and Citizens' Services, BC Stats, 2005b, 7 p., <www.bcstats.gov.bc.ca/data/bus_stat/busind/tourism/timcurr.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Labour and Citizens' Services. *2001 census profile of British Columbia's regions: Central Okanagan Regional District*, BC Ministry of Labour and Citizens' Services, BC Stats, 2005c, 18 p., <http://www.bcstats.gov.bc.ca/data/cen01/profiles/59035000.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Labour and Citizens' Services. *A guide to the BC economy and labour market*, BC Ministry of Labour and Citizens' Services, BC Stats, 2006, <http://www.guidetobceconomy.org/welcome.htm>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Public Safety and Solicitor General. British Columbia Emergency Response Management System (BC-ERMS), BC Ministry of Public Safety and Solicitor General, 2006, <http://www.pep.gov.bc.ca/bcerms.html>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Small Business and Economic Development et BC Ministry of Transportation. *British Columbia ports strategy*, BC Ministry of Small Business and Economic Development et BC Ministry of Transportation, 2005, 34 p., <http://www.gov.bc.ca/ecdev/down/bc_ports_strategy_sbed_mar_18_05.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Ministry of Water, Land and Air Protection. *Indicators of climate change for British Columbia*, BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002, 50 p., <http://www.env.gov.bc.ca/air/climate/indicat/pdf/indicc.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Statutes and Regulations. « Chapter 9 », dans *Drinking Water Protection Act* (SBC 2001), BC Statutes and Regulations, 2001, <http://www.qp.gov.bc.ca/statreg/stat/D/01009_01.htm>, [consultation : 18 mai 2007].

BC Sustainable Energy Association. Solar Hot Water Program, BC Sustainable Energy Association, 2006 <http://www.solarbc.org>, [consultation : 18 mai 2007].

Beamish, R.J. et D.J. Noakes. « Global warming, aquaculture, and commercial fisheries », dans *Stock Enhancement and Sea Ranching: Developments, Pitfalls and Opportunities* (deuxième édition), K.M. Leber, S. Kitada, H.L. Blankenship et T. Svasand (éd.), Blackwell Publishing Ltd., Oxford, Royaume-Uni, 2004, pp. 25–47.

Beamish, R.J., I.A. Pearsall et M.C. Healey. « A history of the research on the early marine life of Pacific salmon off Canada's Pacific coast », *North Pacific Anadromous Fish Commission Bulletin*, vol. 3, 2003, pp. 1–40.

Behrenfeld, M.J., R.T. O'Malley, D.A. Siegel, C.R. McClain, J.L. Sarmiento, G.C. Feldman, A.J. Milligan, P.A. Falkowski, R.M. Letelier et E.S. Boss. « Climate-driven trends in contemporary ocean productivity », *Nature*, vol. 444, 2006, pp. 752–755.

Belliveau, S., B. Bradshaw, B. Smit, S. Reid, D. Ramsey, M. Tarleton et B. Sawyer. *Farm-level adaptation to multiple risks: climate change and other concerns*, University of Guelph, Department of Geography, Publication hors-série n° 27, 2006a, 99 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/93_e.pdf>, [consultation : 2 août 2007].

Belliveau, S., B. Smit et B. Bradshaw. « Multiple exposures and dynamic vulnerability: evidence from the grape industry in the Okanagan Valley, Canada », *Global Environmental Change*, vol. 16, 2006b, pp. 364–378.

Bezener, A., M. Dunn, H. Richardson, O. Dyer, R. Hawes et T. Haves. « South Okanagan-Similkameen conservation program: a multi-partnered, multi-species, multi-scale approach to conservation of species at risk », dans *Proceedings of the Species at Risk 2004 Pathways to Recovery Conference* tenue du 2 au 6 mars 2004 à Victoria, Colombie-Britannique, T.D. Hooper (éd.), Comité organisateur de la conférence Pathways to Recovery, Vancouver (Colombie-Britannique), 2004, 10 p., <http://www.llbc.leg.bc.ca/Public/PubDocs/bcdocs/400484/bezener_edited_final_feb_8.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Biondi F., A. Gershunov et D.R. Cayan. « North Pacific decadal climate variability since 1661 », *Journal of Climate*, vol. 14, n° 1, 2001, pp. 5–10.

Boldt, J., H. Batchelder, W. Crawford, A. Hollowed, J. King, G. McFarlane, F. Mueter, J. Perry et J. Schweigert. « Appendix 3: recent ecosystem changes in the Gulf of Alaska », dans *Report of the Study Group on Fisheries and Ecosystem Response to Recent Regime Shifts*, J. King (éd.), North Pacific Marine Science Organization (PICES), Sydney (Colombie-Britannique), Rapport scientifique 28, 2005, 162 p., <http://www.pices.int/publications/scientific_reports/Report28/Rep_28_default.aspx>, [consultation : 18 mai 2007].

Bond, N.A. et D.E. Harrison. « The Pacific Decadal Oscillation, air-sea interaction and central north Pacific winter atmospheric regimes », *Geophysical Research Letters*, vol. 27, 2000, pp. 731–734.

Bonsal, B.R. et T.D. Prowse. « Trends and variability in spring and autumn 0°C isotherm dates over Canada », *Climatic Change*, vol. 57, 2003, pp. 341–358.

Bonsal, B.R., X. Zhang, L.A. Vincent et W.D. Hogg. « Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada », *Journal of Climate*, vol. 14, 2001, pp. 1959–1976.

Bowen, P.A., C.P. Bogdanoff, B.F. Estergaard, S.G. Marsh, K.B. Usher, C.A.S. Smith et G. Frank. « Geology and wine 10: use of geographic information system technology to assess viticulture in the Okanagan and Similkameen valleys, British Columbia », *Geoscience Canada*, vol. 32, 2006, pp. 161–176.

Brauer, M., G. Hoek, P. Van Vliet, K. Meliefste, P. Fischer, A. Wiga, L. Koopman, H.J. Neijens, J. Gerritsen, M. Kerkhof, J. Heinrich, T. Bellander et B. Brunekreef. « Air pollution from traffic and the development of respiratory infections and asthmatic and allergic symptoms in children », *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 166, 2002, pp. 1092–1098.

Brauer, M., J. Petkau, S. Vedal et R. White. « Air pollution and daily mortality in a city with low levels of pollution », *Environmental Health Perspectives*, vol. 111, 2003, pp. 45–51.

Bremmer, L. et J. Bremmer. BC grape acreage report – August 20, 2004, rapport inédit rédigé par les Mount Kobau Wine Services pour la BC Grapegrowers Association, 2004, <http://www.grapegrowers.bc.ca/winecrop.shtml>, [consultation : 18 mai 2007].

Brenner, N. et N. Theodore. « Preface: from the new localism to the spaces of neoliberalism », *Antipode*, vol. 34, 2002, pp. 341–347.

Brown, K.J. et R.J. Hebda. « Origin, development, and dynamics of coastal temperate conifer rainforests of southern Vancouver Island, Canada », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 32, 2002, pp. 353–372.

Brown, K.J. et R.J. Hebda. « Temperate rainforest connections disclosed through a late-Quaternary vegetation, climate, and fire history investigation from the mountain hemlock zone on southern Vancouver Island, British Columbia, Canada », *Review of Palaeobotany and Palynology*, vol. 123, 2003, pp. 247–269.

Brubaker, L. « Vegetation history and anticipating future vegetation change », dans *Ecosystem Management for Parks and Wilderness*, J.K. Agee et D.R. Johnson (éd.), University of Washington Press, Seattle, Washington, 1988, pp. 41–61.

Bruce, J.P. *Implications of climate change for flood damage reduction in Canada*, compte-rendu de la 3e conférence canadienne sur la géotechnique et les risques naturels tenue du 8 au 10 juin 2003, Geohazards 2003, Geotechnical Society, Edmonton (Alberta), 2003, pp. 29–34.

Brugman, M.M., A. Pietroniro et J. Shi. « Mapping alpine snow and ice using Landsat TM and SAR imagery at Wapta icefield », *Journal canadien de télédétection*, vol. 22, 1996, pp. 127–136.

Buckland, J. et M. Rahman. « Community-based disaster management during the 1997 Red River flood in Canada », *Disasters*, vol. 23, n° 2, 1999, pp. 174–191.

Bull, C. *Fisheries habitat in the Okanagan River, phase 2: investigation of selected options*, rapport inédit rédigé pour le Douglas County Public Utility, District No. 1 of Washington State, Wenatchee, Washington, 1999.

Burnett, R.T., S. Cakmak et J.R. Brook. « The effect of the urban ambient air pollution mix on daily mortality rates in 11 Canadian cities », *Revue canadienne de santé publique*, vol. 89, n° 3, 1998, pp. 152–156.

Burnett, R.T., Y. Chen, D. Krewski, K. Liu et Y. Shi. « Association between gaseous ambient air pollutants and adverse pregnancy outcomes in Vancouver, Canada », *Environmental Health Perspectives*, vol. 111, 2003, pp. 1773–1778.

Burton, B., L. Gu et Y.Y. Yin. « Overview of vulnerabilities of coastally-influenced conveyance and treatment infrastructure in Greater Vancouver to climate change: identification of adaptive responses », dans *EWRI 2005: Impacts of Global Climate Change*, R. Walton (éd.), compte-rendu de la Conférence mondiale sur l'eau et l'environnement tenue du 15 au 19 mai 2005 à Anchorage Alaska, American Society of Civil Engineering, Environmental and Water Resources Institute, 2005, doi: 10.1061/40792(173)79.

Burton, I., R.W. Kates et G.F. White. *The Environment as Hazard*, Oxford University Press New York, New York, 1978, 258 p.

Butler, R.W. « Winter abundance and distribution of shorebirds and songbirds on farmlands on the Fraser River Delta, British Columbia, 1989–1991 », *Canadian Field-Naturalist*, vol. 113, n° 3, 1999, pp. 390–395.

Cammell, M.E. et J.D. Knight. « Effects of climatic change on the population dynamics of crop pests », *Advances in Ecological Research*, vol. 22, 1992, pp. 117–162.

Canadian Association of Petroleum Producers. *British Columbia's oil and natural gas industry*, Canadian Association of Petroleum Producers, Calgary, Alberta, 2005, 2 p., <http://www.capp.ca/raw.asp?x=1&dt=NTV&e=PDF&dn=84443>, [consultation : 18 mai 2007].

Canadian Association of Petroleum Producers. *Industry facts and information, western Canada. British Columbia statistics for the past eight years*, Canadian Association of Petroleum Producers, Calgary (Alberta), 2006, 1 p., <http://www.capp.ca/raw.asp?x=1&dt=NTV&e=PDF&dn=84089>, [consultation : 18 mai 2007].

Capital Regional District Water Services. *2003 review of the strategic plan for water management*, Capital Regional District Water Services, Victoria, Colombie-Britannique, 2004, 161 p.

Capital Regional District Water Services. *The need to conserve water, how does climate affect our water use?*, Capital Regional District Water Services, Victoria (Colombie-Britannique), BC, 2007, <http://www.crd.bc.ca/water/conservation/images/demand3.gif>, [consultation : 19 mai 2007].

Caprio, J.M. et H.A. Quamme. « Weather conditions associated with apple production in the Okanagan Valley of British Columbia », *Revue canadienne de phytotechnie*, vol. 79, n° 1, 1999, pp. 129–137.

Caprio, J.M. et H.A. Quamme. « Weather conditions associated with grape production in the Okanagan Valley of British Columbia and potential impact of climate change », *Revue canadienne de phytotechnie*, vol. 82, n° 4, 2002, pp. 755–763.

Caprio, J.M. et H.A. Quamme. « Influence of weather on apricot, peach and sweet cherry production in the Okanagan Valley of British », *Revue canadienne de phytotechnie*, vol. 86, 2006, pp. 259–267.

Carroll, A.L., S.W. Taylor, J. Regniere et L. Safranyik. « Effects of climate change on range expansion by the mountain pine beetle in British Columbia », dans *Proceedings of Mountain Pine Beetle Symposium: Challenges and Solutions*, tenu les 30 et 31 octobre 2003 à Kelowna (Colombie-Britannique), T.L. Shore, J.E. Brooks et J.E. Stone (éd.), Ressources naturelles Canada, Service canadien des forets, Centre de foresterie du Pacifique, Rapport d'information Report BC-X-399, Victoria (Colombie-Britannique), 2004, pp. 223–232.

Cashore, B., G. Hoberg, M. Howlett, J. Rayner et J. Wilson. *In Search of Sustainability: British Columbia Forest Policy in the 1990s*, University of British Columbia Press, Vancouver (Colombie-Britannique), 2001, 340 p.

Casola, J.H., J.E. Kay, A.K. Snover, R.A. Norheim et L.C. Whitely Binder. *Climate impacts on Washington's hydropower, water supply, forests, fish and agriculture*, rapport inédit rédigé pour King County, Washington par le Climate Impacts Group, Center for Science in the Earth System, Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean, University of Washington, Seattle, Washington, 2005, <http://www.cses.washington.edu/db/pdf/kc05whitepaper459.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Chang, A.S. et R.T. Patterson. « Climate shift at 4400 years BP: evidence from high-resolution diatom stratigraphy, Effingham Inlet, British Columbia, Canada », *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 226, n° 2–3, 2005, pp. 72–92.

Chang, A.S., R.T. Patterson et R. McNeely. « Seasonal sediment and diatom record from the late Holocene laminated sediments, Effingham Inlet, British Columbia, Canada », *Palaios*, vol. 18, 2003, pp. 477–494.

Changnon S.A., F.A. Huff et C.F. Hsu. « Relations between precipitation and shallow groundwater in Illinois », *Journal of Climate*, vol. 1, n° 12, 1988, pp. 1239–1250, <http://ams.allenpress.com/archive/1520-0442/1/12/pdf/i1520-0442-1-12-1239.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Cheng, J.D. « Streamflow changes after clear-cut logging of a pine beetle-infested watershed in southern British Columbia, Canada », *Water Resources Research*, vol. 25, 1989, pp. 449–456.

Clague, J.J. et B.D. Bornhold. « Morphology and littoral processes of the Pacific coast of Canada », dans *The Coastline of Canada. Littoral Processes and Shore Morphology*, compte-rendu d'une conférence tenue du 1 au 3 mai 1978 à Halifax, S.B. McCann (éd.), Commission géologique du Canada, Étude 80-10, 1980, pp. 339–380.

Clark, G.E., S.C. Moser, S.J. Ratick, K. Dow, W.B. Meyer, S. Emani, W. Jin, J.X. Kasperson, R.E. Kasperson et H.E. Schwarz. « Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: the case of Revere, MA, USA », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 3, 1998, pp. 59–82, <http://nome.colorado.edu/HARC/Readings/Clark.pdf>, [consultation : 18 mai 10, 2007].

Clarke, W.G. et S.R. Hare. « Effects of climate and stock size on recruitment and growth of Pacific halibut », *North American Journal of Fisheries Management*, vol. 22, 2002, pp. 852–862.

Climate Impacts Group. *Impacts of natural climate variability on Pacific Northwest climate*, Climate Impacts Group, 2006 <http://www.cses.washington.edu/cig/pnwc/clvariability.shtml> et <http://www.cses.washington.edu/cig/pnwc/pnwc.shtml>, [consultation : 18 mai 2007].

Cohen, S.J. « What if and so what in northwest Canada: could climate change make a difference to the future of the Mackenzie Basin? », *Arctic*, vol. 50, n° 4, 1997, pp. 293–307.

Cohen, S.J. et T. Kulkarni (éd.). *Water management and climate change in the Okanagan Basin*, Environnement Canada et University of British Columbia, 2001, 75 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/46_e.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Cohen, S.J., W.S. Merritt, Y. Alila, M. Barton et B. Taylor. *Exploring impacts of climate change on the hydrology of the Okanagan Basin*, compte rendu de la 56e Conference annuelle de l'Association canadienne des ressources hydriques, Vancouver (Colombie-Britannique), 2003, 179 p.

Cohen, S.J., K.A. Miller, A.F. Hamlet et W. Avis. « Climate change and resource management in the Columbia River basin », *Water International*, vol. 25, n° 2, 2000, pp. 253–272.

Cohen, S.J., D. Neilsen, S. Smith, T. Neale, B. Taylor, M. Barton, W.S. Merritt, A. Younes, P. Shepherd, R. McNeill, J. Tansey, J. Carmichael et S. Langsdale. « Learning with local help: Expanding the dialogue on climate change and water management in the Okanagan Region, British Columbia, Canada », *Climatic Change*, vol. 75, 2006, pp. 331–358.

Cohen, S.J., D. Nielsen, R. Welbourn et. *Expanding the dialogue on climate change and water management in the Okanagan Basin*, British Columbia, Environnement Canada, Agriculture et Agroalimentaire Canada et University of British Columbia, 2004, 230 p.

Coleman, J.S. « Social capital in the creation of human capital », in Organizations and Institutions: Sociological and Economic Approaches to the Analysis of Social Structure, *American Journal of Sociology*, vol. 94 (supplément), 1988, pp. S95–S120.

Columbia Mountain Institute for Applied Ecology. *Climate change in the Columbia basin*, compte-rendu d'un atelier tenu les 17 et 18 janvier 2003 à Cranbrook (Colombie-Britannique), 2003, 102 p., <http://www.cmiae.org/pdf/ClimateChange2003.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Committee on Protection and Management of Pacific Northwest Anadromous Salmonids. *Upstream: Salmon and Society in the Pacific Northwest*, National Academies Press, Washington, DC, 1996, 452 p.

Conner, T. *Social vulnerability and adaptive capacity to climate change impacts: identifying attributes in two remote coastal communities on Haida Gwaii, British Columbia*, thèse de maîtrise, Department of Geography, University of Victoria, Victoria (Colombie-Britannique), 2005, 207 p.

Cooke, S.J., S.G. Hinch, A.P. Farrell, M.F. Lapointe, S.R.M. Jones, J.S. Macdonald, D.A. Patterson, M.C. Healey et G. Van Der Kraak. « Abnormal migration and high en route mortality of sockeye salmon in the Fraser River, British Columbia », *Fisheries*, vol. 29, 2004, pp. 22–33.

Crabbe, C. « France caught cold by heatwave », *Bulletin of the World Health Organization*, vol. 81, n° 10, 2003, pp. 773–774, <http://www.who.int/bulletin/volumes/81/10/773-775%20(news).pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Craig-Smith, I., R. Tapper et X. Font. « The coastal and marine environment », dans *Tourism and Global Environmental Change. Ecological, Social, Economic and Political Interrelationships*, S. Gossling et C.M. Hall (éd.), Routledge, Londres, Royaume-Uni, 2006, pp. 107–127.

Crawford, W.R., J. Cherniawsky, M. Foreman et P. Chandler. « El Niño sea level signal along the west coast of Canada », dans *Proceedings of the 1998 Science Board Symposium on the Impacts of the 1997/98 El Niño Event on the North Pacific Ocean and its Marginal Seas*, North Pacific Marine Science Organization (PICES), Rapport scientifique 10, 1999, 4 p., <http://www.pices.int/publications/scientific_reports/Report10/default.aspx>, [consultation : 18 mai 2007].

Cummings, S.G. et P.J. Burton. « Phenology-mediated effects of climatic change on some simulated British Columbia forests », *Climatic Change*, vol. 34, 1996, pp. 213–222.

Dale, V.H., L.A. Joyce, S. McNulty, R.P. Neilson, M.P. Ayres, M.D. Flannigan, P.J. Hanson, L.C. Irland, A.E. Lugo, C.J. Peterson, D. Simberloff, F.J. Swanson, B.J. Stocks et B.M. Wotton. « Climate change and forest disturbances », *BioScience*, vol. 51, 2001, pp. 723–734.

Daly, C., W.P. Gibson, G.H. Taylor, G.L. Johnson et P. Pasteris. « A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate », *Climate Research*, vol. 22, 2002, pp. 99–113.

Davidson, D., T. Williamson et J. Parkins. « Understanding climate change risk and vulnerability in northern forest-based communities », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 33, 2003, pp. 2252–2261.

Degg, M.R. et J. Homan. « Earthquake vulnerability in the Middle East », *Geography*, vol. 90, 2005, pp. 54–66.

Dewar, K. « Everyone talks about the weather », dans *Tourism, Recreation and Climate Change*, C.M. Hall et J. Higham (éd.), Channel View, Clevedon, Royaume-Uni, 2005, pp. 234–246.

Dingler, J.R. et T.E. Reiss. « Changes to Monterey Bay beaches from the end of the 1982–83 El Niño through the 1997–98 El Niño », *Marine Geology*, vol. 181, n° 1, 2001, pp. 249–263.

Dobson Engineering Ltd. *Chase Creek hydrological assessment: impact of mountain pine beetle infestations on peak flows* (including application of the Ministry of forests' Extension Note 67), Riverside Forest Products Limited, Tolko Industries Ltd. et le BC Forest Service, 2004, 43 p.

Dods, P. et R. Copes. « Wood smoke, forest fires and PM2.5 in British Columbia », *BC Medical Journal*, vol. 47, n° 5, 2005, pp. 132–133.

Dolan, A.H. et I.J. Walker. « Understanding vulnerability of coastal communities to climate change related risks », *Journal of Coastal Research*, Numéro spécial 39, 2007, pp. 1317–1324.

Drebot, M.A., H. Artsob et D. Werker. « Syndrome pulmonaire dû au hantavirus au Canada, 1989–1999 », *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 26-08, 2000, pp. 65–69, <http://www.phac-aspc.gc.ca/publicat/ccdr-rmtc/00vol26/rm2608fa.html>, [consultation : 18 mai 2007].

Dry, P.R., B.R. Loveys, M.G. McCarthy et M. Stoll. « Strategic irrigation management in Australian vineyards », *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, vol. 35, 2001, pp. 129–139.

Dyer, D. « What can a communities do? », dans *Proceedings, Communities and Climate Change Workshop: Planning for Impacts and Adaptations*, atelier tenu le 17 mai 2006 à Prince George (Colombie-Britannique), C. Wainwright et K. Zimmerman (comp.), McGregor Model Forest Association, 2006, <http://www.mcgregor.bc.ca/downloads/Proceedings.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Dyer, J.M. « Assessment of climatic warming using a model of forest species migration », *Ecological Modelling*, vol. 79, 1995, pp. 199–219.

Easterling, D.R., G.A. Meehl, C. Parmesan, S. Changnon, T.R. Karl et L.O. Mearns. « Climate extremes: observations, modeling and impacts », *Science*, vol. 289, n° 5487, 2000, pp. 2068–2074.

Elner, R.W., P.G. Beninger, D.L. Jackson et T.M. Potter. « Evidence of a new feeding mode in western sandpiper, and dunlin based on bill and tongue morphology », *Marine Biology*, vol. 146, n° 6, 2005, pp. 1223–1234.

Engelthaler, D.M., D.G. Mosley, J.E. Cheek, C.E. Levy, K.K. Komatsu, P. Ettestad, T. Davis, D.T. Tanda, L. Miller, J.W. Frampton, R. Porter et R.T. Bryan. « Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome, Four Corners region, United States », *Emerging Infectious Diseases*, vol. 5, 1999, pp. 87–94.

Enns, S., T. Malinick et R. Matthews. « It's not only who you know, its also where they are: using the position generator to investigate the structure of access to socially embedded resources », dans *Social Capital: Advances in Research*, N. Lin et B.H. Erickson (éd.), Oxford University Press, New York, New York, in press.

Environnement Canada. *El Niño : Effets au Canada*, Environnement Canada, 2003 <http://www.msc.ec.gc.ca/education/elnino/canadian/region/index_mean_f.cfm>, [consultation : 18 mai 2007].

Environnement Canada. *Menaces pour la disponibilité de l'eau au Canada*, Environnement Canada, Institut national de recherche sur les eaux, 2004, <http://www.nwri.ca/threats2full/intro-f.html>, [consultation : 18 mai 2007].

Fankhauser, S. et R.S.J. Tol. « The social costs of climate change: the IPCC second assessment report and beyond », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 1, n° 4, 1997, pp. 385–403.

Flannigan, M.D., I. Campbell, M. Wotton, C. Carcaillet, P. Richard et Y. Bergeron. « Future fire in Canada's boreal forest: paleoecology results and general circulation model — regional climate model simulations », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 31, 2001, pp. 854–864.

Flannigan, M.D., K.A. Logan, B.D. Amiro, W.R. Skinner et B.J. Stocks. « Future area burned in Canada », *Climatic Change*, vol. 72, 2005, pp. 1–16.

Flato, G.M., G.J. Boer, W.G. Lee, N.A. McFarlane, D. Ramsden, M.C. Reader et A.J. Weaver. « The Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis global coupled model and its climate », *Climate Dynamics*, vol. 16, 2000, pp. 451–467.

Fleming, S.W. « Comparative analysis of glacial and rival streamflow regimes with implications for lotic habitat quantity and fish species richness », *Water Research and Applications*, vol. 21, 2005, pp. 363–379.

Fleming, S.W. et G.K.C. Clark. « Attenuation of high-frequency interannual streamflow variability by watershed glacial cover », *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 13, n° 17, 2005, pp. 615–618.

Fleming, S.W., R.D. Moore et G.K.C. Clarke. « Glacier-mediated streamflow teleconnections to the Arctic Oscillation », *International Journal of Climatology*, vol. 26, 2006, pp. 619–636.

Ford, J. et B. Smit. « A framework for assessing the vulnerability of communities in the Canadian Arctic to risks associated with climate change », *Arctic*, vol. 57, n° 4, 2004, pp. 389–400.

FortisBC. *PowerSense Program*, FortisBC, 2006, <http://www.fortisbc.com/energy_efficiencyeabout_energy_efficiency.html>, [consultation : 18 mai 2007].

Frame, T.M., T. Gunton et J.C. Day. « The role of collaboration in environmental management: an evaluation of land and resource planning in British Columbia », *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 47, n° 1, 2004, pp. 59–82.

Fraser River Sockeye Public Review Board. *Fraser River sockeye 1994: problems and discrepancies*, Gouvernement du Canada, 1995, 131 p.

Frenkel, B. *Vanderhoof climate change: stakeholder study*, rapport inédit rédigé par Avison Management Service Ltd. Pour la municipalité de Vanderhoof (Colombie-Britannique), 2005.

Furniss, M.M. et J.A. Schenk. « Sustained natural infestations by the MPB in seven new Pinus and Picea hosts », *Journal of Economic Entomology*, vol. 62, 1969, pp. 518–519.

Gagné, J., W. Cocksedge, P. Burton, A. Thomson, B. Titus, R. Winder, S. Berch, S. Tedder, W. Fekete, M. Keefer et G. Prest. *Integrating non-timber forest products into forest planning and practices in British Columbia*, Forest Practices Board, Victoria (Colombie-Britannique), Rapport spécial n° 19, 2004, 33 p., <http://www.fpb.gov.bc.ca/SPECIAL/reports/SR19/SR19.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Gardner, J. et D. Peterson. *Making sense of the salmon aquaculture debate: analysis of issues related to netcage salmon farming and wild salmon in British Columbia*, rapport inédit rédigé pour le Pacific Fisheries Resource Conservation Council, Vancouver (Colombie-Britannique), 2003, 139 p., <http://www.fish.bc.ca/files/SalmonAquaculture-MakingSenseDebate_2003_0_Complete.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Garibaldi, A. et N. Turner. « Cultural keystone species: implications for ecological conservation and restoration », *Ecology and Society*, vol. 93, n° 3, 2004, <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss3/art1/>, [consultation : 18 mai 2007].

Gavin, D.G., J.S. McLachlan, L.B. Brubaker et K.A. Young. « Postglacial history of subalpine forests, Olympic Peninsula, Washington, USA », *The Holocene*, vol. 11, 2001, pp. 177–188.

Gedalof, Z. et D.J. Smith. « Interdecadal climate variability and regime-scale shifts in Pacific North America », *Geophysical Research Letters*, vol. 28, 2001, pp. 1515–1518.

Gedalof, Z., N.J. Mantua et D.L. Peterson. « A multi-century perspective of variability in the Pacific Decadal Oscillation: new insights from tree rings and coral », *Geophysical Research Letters*, vol. 29, 2002, doi:10.1029/2002GL015824.

Gedalof, Z., D.L. Peterson et N.J. Mantua. « Columbia River flow and drought since 1750 », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 40, 2004, pp. 1579–1592.

Gedalof, Z., D.L. Peterson et N.J. Mantua. « Atmospheric, climatic and ecological controls on extreme wildfire years in the northwestern United States », *Ecological Applications*, vol. 15, 2005, pp. 154–174.

Gershunov, A. et T.P. Barnett. « Interdecadal modulation of ENSO teleconnections », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 79, n° 12, 1998, pp. 2715–2725.

Gerwing, K. et T. McDaniels. « Listening to the Salmon People: coastal First Nations' objectives regarding salmon aquaculture in British Columbia », *Society and Natural Resources*, vol. 19, 2006, pp. 259–273.

Gillett, N.P., A.J. Weaver, F.W. Zwiers et M.D. Flannigan. « Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires », *Geophysical Research Letters*, vol. 31, L18211, 2004, doi:10.1029/2004GL020876.

Glass G.E., J.E. Cheek, J.A. Patz, T.M. Shields, T.J. Doyle, D.A. Thoroughman, D.K. Hunt, R.E. Enscore, K.L. Gage, C. Irland, C.J. Peters et R. Bryan. « Using remotely sensed data to identify areas at risk for hantavirus pulmonary syndrome », *Emerging Infectious Diseases*, vol. 6, 2000, pp. 238–247.

Glavin, T. *Dead reckoning: confronting the crisis in Pacific fisheries*, Greystone Books, Vancouver (Colombie-Britannique), 1996, 181 p.

Goklany, I.M. « Strategies to enhance adaptability: technological change, sustainable growth and free trade », *Climatic Change*, vol. 30, 1995, pp. 427–449.

Gray, P.A. « Impacts of climate change on diversity in forested ecosystems: some examples », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, 2005, pp. 655–661.

Greater Vancouver Regional District. *Livable region strategic plan*, Greater Vancouver Regional District, Policy and Planning Department, 1999, 35 p., <http://www.gvrd.bc.ca/80/growth/lrsp.htm>, [consultation : 18 mai 2007].

Greater Vancouver Regional District. *Water: The Greater Vancouver Water District water consumption statistics, 2004 edition*, Greater Vancouver Regional District, 2005a, 66 p., <http://www.gvrd.bc.ca/water/pdfs/ConsumptionStatistics2004.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Greater Vancouver Regional District. *Drinking water: quality on tap* (drinking water management plan for the GVWD and member municipalities), Greater Vancouver Regional District, 2005b, 12 p., <http://www.gvrd.bc.ca/water/pdfs/DrinkingWaterManagementPlanA.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Greater Vancouver Regional District. *GVRD residents are advised of deteriorating water quality*, Greater Vancouver Regional District, communiqué de presse, 16 novembre 16, 2006, <http://www.gvrd.bc.ca/media/2006/2006-11-16-Media-ReleaseResidentsAdvisedWaterQuality.pdf>, [consultation : 11 mai 2007].

Greater Vancouver Transportation Authority. *2006 transportation plan. Greater Vancouver Transportation Authority*, 2005, 99 p., <http://www.translink.bc.ca/files/pdf/plan_pro/2006_Transportation_Plan.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Gregory, R., L. Failing et J. Arvai. *Indicators for climate change at Roberts Bank*, rapport inédit rédigé pour Ressources naturelles Canada, Secteur des sciences de la terre, 2006, 20 p.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Résumé à l'intention des décideurs », dans *Bilan 2001 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White (éd.), contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 1–18, <http://www.ipcc.ch/pub/wg2SPMfinal.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for policymakers », dans *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignot et H.L. Miller (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007, 18 pp. <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Hagerman, S. et H. Dowlatabadi. *What! Biodiversity set-asides may not protect against climate change!*, University of British Columbia, Institute for Resources, Environment and Sustainability, séminaire tenu le 5 avril 2006 au Climate Decision Making Center, 2006, <http://cdmc.epp.cmu.edu/Hadi_spring06.pdf>, [consultation : 23 mai 2007].

Haida Gwaii–Queen Charlotte Islands Land Use Planning Process Team. *Haida Gwaii–Queen Charlotte Islands Land Use Plan recommendations report and agenda*, BC Integrated Land Management Bureau, 2006, <http://ilmbwww.gov.bc.ca/ilmb/lup/lrmp/coast/qci/docs/fin_LUP_package_Jan26-06.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Haines, et J. Patz. « Health effects of climate change », *Journal of the American Medical Association*, vol. 291, n° 1, 2004, pp. 99–103.

Hallin, I. *A guide to the BC economy and labour market*, BC Ministry of Labour and Citizens' Services, 2001 <www.bcstats.gov.bc.ca/pubs/econ_gui.asp>, [consultation : 18 mai 2007].

Hamann, A. et T.L. Wang. « Models of climate normals for genecology and climate change studies in BC », *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 128, 2005, pp. 211–221.

Hamann, A. et T.L. Wang. « Potential effects of climate change on ecosystem and tree species distribution in British Columbia », *Ecology*, vol. 87, n° 11, 2006, pp. 2773–2786.

Hamlet, A.F. « The role of transboundary agreements in the Columbia River basin: an integrated assessment in the context of historical development, climate, and evolving water policy », dans *Climate, Water and Transboundary Challenges in the Americas*, H. Diaz et B. Morehouse (éd.), Kluwer Press, Boston, Massachusetts, 2003, pp. 263–289.

Hamlet, A.F. et D.P. Lettenmaier. « Effects of climate change on hydrology and water resources in the Columbia River basin », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 35, n° 6, 1999, pp. 1597–1623.

Hamlet, A.F., F.D. Huppert et D.P. Lettenmaier. « Economic value of long-lead streamflow forecasts for Columbia river hydropower », American Society of Civil Engineers, *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 128, n° 2, 2002, pp. 91–101.

Hamon, W.R. « Computation of direct runoff amounts from storm rainfall », *International Association of Scientific Hydrology Publication*, vol. 63, 1963, pp. 52–62.

Hanlon, N. et G. Halseth. « The greying of resource communities in northern British Columbia: implications for health care delivery in already-underserviced communities », *Le Géographe canadien*, vol. 49, n° 1, 2005, pp. 1–24.

Hannah, L., G.F. Midgley, T. Lovejoy, W.J. Bond, M. Bush, J.C. Lovett, D. Scott and F.I. Woodward. « Conservation of biodiversity in a changing climate », *Conservation Biology*, vol. 16, 2002, pp. 264–268.

Hansen, A.J., R.P. Neilson, V.H. Dale, C.H. Flather, L.R. Iverson, D.J. Currie, S. Shafer, R. Cook et P.J. Bartlein. « Global change in forests: response of species, communities, and biomes », *BioScience*, vol. 51, n° 9, 2001, pp. 765–779.

Harding, L.E. et E. McCullum. « Ecosystem response to climate change in British Columbia and Yukon: threats and opportunities for biodiversity », dans *Responding to Global Climate Change in British Columbia and Yukon*, E. Taylor et B. Taylor (éd.), Environnement Canada, 1997, pp. 9.11–9.22.

Hare, S.R. et N.J. Mantua. « Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989 », *Progress in Oceanography*, vol. 47, 2000, pp. 103–145.

Hargreaves, N.B., D.M. Ware et G.A. McFarlane. « Return of the Pacific sardine Sardinops sagax to the British Columbia coast in 1992 », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 51, 1994, pp. 460–465.

Harris, S. Impacts of fish contamination on native American culture, présentation faite au Annual Forum on Contaminants in Fish, Chicago, Illinois, United States Environmental Protection Agency, MN Department of Health, 2001.

Hayter, R. Flexible Crossroads: The Restructuring of British Columbia's Forest Economy, University of British Columbia Press, Vancouver, Colombie-Britannique, 2000, 416 p.

Hebda, R.J. « Impact of climate change on biogeoclimatic zones of British Columbia and Yukon », dans *Responding to Global Climate Change in British Columbia and Yukon*, E. Taylor et B. Taylor (éd.), Environnement Canada, 1997, pp. 13–15.

Hebda, R.J. « Atmospheric change, forests and biodiversity », *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 49, 1998, pp. 195–212.

Hebda, R.J. « History of cedars in western North America », *dans Proceedings of The Cedar Symposium: Growing Western Redcedar and Yellow-cypress on the Queen Charlotte Islands* / Haida Gwaii, G.G. Wiggins (éd.), BC Ministry of Forests, 1999, pp. 5–13.

Hebda, R.J. et C. Whitlock. « Environmental history of the coastal temperate rain forest of northwest North America », dans *The Rain Forests of Home: Profile of a North American Bioregion*, P.K. Schoonmaker, B. von Hagen et E.C. Wolf (éd.), Island press, Washington DC, 1997, 447 p.

Heinberg, R. *The Party's Over: Oil, War and the Fate of the Industrial Societies*, New Society Publishers, Gabriola Island, Colombie-Britannique, 2003, 320 p.

Hélie, J.-F., D.L. Peters, K.R. Tattrie et J.J. Gibson. *Review and synthesis of potential hydrologic impacts of mountain pine beetle and related harvesting activities in British Columbia*, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Programme sur le dendroctone du pin, Document de travail 2005-23, 2005, 34 p., <http://warehouse.pfc.forestry.ca/pfc/25684.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Herbert-Cheshire, L. et V. Higgins. « From risky to responsible: expert knowledge and the governing of community-led development », *Journal of Rural Studies*, vol. 20, 2004, pp. 289–302.

Hertzman, C., J. Frank et R. Evans. « Heterogeneities in health status and the determinants of population health », dans *Why Are Some People Healthy and Others Not?*, R.G. Evans, M.L. Barer et T.R. Marmor (éd.), Aldine de Gruyter, New York, New York, 1994, pp. 67–92.

Hicks, R.W.B. et E.L. von Euw. « Integrated stormwater management planning process to address climate and land-use changes in urban watersheds in the Greater Vancouver Regional District », dans *16th International Conference, Society for Ecological Restoration*, conference tenue du 24 au 26 août 2004 à Victoria (Colombie-Britannique), 2004.

Hill, P.R. (éd.). *Biophysical impacts of sea level rise and changing storm conditions on Roberts Bank*, Commission géologique du Canada, Dossier public, sous presse.

Hill, P.R., C. Houser, D.G. Lintern, A. Shaw, S. Solomon, T. Sutherland, C. Levings et J. Tansey. « Sensitivity of the Roberts Bank tidal flats, Vancouver, Canada to climate change and anthropogenic alteration », dans *Delivering Sustainable Coasts: Connecting Science and Policy*, compte rendu de Littoral 2004, rencontre tenue du 20 au 22 septembre 2004 à Aberdeen, en Écosse, Cambridge Publications, Cambridge, Royaume-Uni, 2004, pp. 648–649.

Hoberg, G. « The Politics of Sustainability: Forest Policy in British Columbia », dans *Politics, Policy, and Government in British Columbia*, R. Carty (éd.), University of British Columbia Press, Vancouver (Colombie-Britannique), 1996, 381 p.

Holman, G. et S. Nicol. *Socio-economic and environmental base case: socioeconomic component*, Government of British Columbia, Sea-to-Sky Land and Resource Management Plan (LRMP), 2001, <http://ilmbwww.gov.bc.ca/lup/lrmp/coast/s2s/reports/base_case_chapters/contents.pdf>, [consultation : 15 août 2007].

Hourston, R., C.H. Clay, E.W. Burridge, K.C. Lucas, D.R. Johnson, H.T. Heg, W.R. McKinley, J.T. Barnaby, L.A. Fulton et A.A. Gentry. *The salmon problems associated with the proposed flood control project on the Okanagan River in British Columbia, Canada*, rapport inédit rédigé par le personnel technique du United States Fish and Wildlife Service, du Washington Department of Fisheries et du Ministère des Pêches du Canada, 1954, 109 p.

Hrasko, B. et R. McNeill. « Costs of adaptation options », dans *Participatory Integrated Assessment of Water Management and Climate Change in the Okanagan Basin*, British Columbia, S. Cohen et T. Neale (éd.), rapport final du Projet A846 remis à Ressources naturelles Canada, Environnement Canada et University of British Columbia, 2006, pp. 43–56.

Hughes, R.G. « Climate change and loss of saltmarshes: consequences for birds », *Ibis*, vol. 146, supplément 1, 2004, pp. 21–28.

Hutton, D. et C.E. Haque. « Human vulnerability dislocation and resettlement-adaptation processes of river-bank erosion-induced displacees in Bangladesh », *Disasters*, vol. 28, n° 1, 2004, pp. 41–62.

Hyatt, K.D. et C.A.D. Alexander. *The Okanagan Fish-Water Management OKFWM Tool: results of a 25 year retrospective analysis*, rapport inédit rédigé pour le Canadian Okanagan Basin Technical Working Group (Pêches et Océans Canada), Kamloops (Colombie-Britannique) et Douglas County Public Utility District No. 1, East Wenatchee, Washington, 2005, 24 p.

Hyatt, K.D. et D.P. Rankin. *An evaluation of Okanagan sockeye salmon escapement objectives*, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Comité d'examen des évaluations scientifiques du Pacifique (CEESP), Document de travail S99-18, 1999.

Hyatt, K.D. et B.E. Riddell. « The importance of 'stock' conservation definitions of the concept of sustainable fisheries », dans *Sustainable Fisheries Management: Pacific Salmon*, E.E. Knutson, C.R. Steward, D. MacDonald, J.E. Williams et D.W. Reiser (éd.), CRC Press, Boca Raton, Floride, 2000, pp. 51–62.

Hyatt, K.D., M.M. Stockwell et D.P. Rankin. D.P. « Impact and adaptation responses of Okanagan River sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* to climate variation and change effects during freshwater migration: stock restoration and fisheries management implications », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 28, 2003, pp. 689–713.

Interis. *Climate change risk assessment for Fisheries and Oceans Canada*, rapport inédit rédigé pour Pêches et Océans Canada, Direction des politiques et de la planification, 2005, 50 p.

Irvine, J., L. Biagini et M. Poon. *An update on catch trends for Pacific salmon in British Columbia*, Canada, Pêches et Océans Canada, Document NPAFC Doc-868, 2005, 14 p.

Jakob, M., I. McKendry et R. Lee. « Long-term changes in rainfall intensity in Vancouver, British Columbia », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 28, n° 4, 2003, pp. 587–604.

Johnson, C. « Dry weather starts flow of talk », *Vancouver Sun*, 9 juillet 2004.

Johnson, M. et T.B. Williamson. « Climate change implications for stand yields and soil expectation values: a northern Saskatchewan case study », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, 2005, pp. 683–690.

Kidd, S.E., F. Hagen, R.L. Tscharke, M. Huynh, K.H. Barlett, M. Fyfe, L. MacDougall, T. Boekhout, K.J. Kwon Chung et W. Meyer. « A rare genotype of Cryptococcus gattii caused the cryptococcosis outbreak on Vancouver Island, British Columbia, Canada », dans Microbiology, *Proceedings of The National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 101, n° 49, 2004, pp. 17 258–17 263.

King, J.R. (éd.). *Report of the study group on fisheries and ecosystem response to recent regime shifts, North Pacific Marine Science Organization (PICES)*, Rapport scientifique n° 28, 2005, 168 p., <http://www.pices.int/publications/scientific_reports/Report28/Rep_28_default.aspx>, [consultation : 18 mai 2007].

King, J.R. et G.A. McFarlane. « Marine fish life history strategies: applications to fishery management », *Fisheries Management and Ecology*, vol. 10, 2003, pp. 249–264.

Klein, R.J.T. et R.J. Nicholls. « Assessment of coastal vulnerability to climate change », *Ambio*, vol. 28, n° 2, 1999, pp. 182–187.

Klinenberg, E. *Heat wave: a social autopsy of disaster in Chicago*, University of Chicago Press, Chicago, Illinois, 2002, 320 p.

Koch, J., B. Menounos, J.J. Clague et G.D. Osborn. « Environmental change in Garibaldi Provincial Park, southern Coast Mountains, British Columbia », *Geoscience Canada*, vol. 31, 2004, pp. 127–135.

Kondro, W. « Software calculates pollution's cost to health », *Lancet*, vol. 356, 2000, pp. 144.

Krajina, V.J. « Biogeoclimatic zones and biogeocoenoses of British Columbia », *Ecology of Western North America*, vol. 1, 1965, pp. 1–17.

Lambrakis, N. et G. Kallergis. « Reaction of subsurface coastal aquifers to climate and land use changes in Greece: modelling of groundwater refreshening patterns under natural recharge conditions », *Journal of Hydrology*, vol. 245, n° 1, 2001, pp. 19–31.

Lanarc Consultants. *Stormwater source control design guidelines, 2005*, Greater Vancouver Regional District, 2005 <http://www.gvrd.bc.ca/sewerage/stormwater_reports.htm>, [consultation : 18 mai 2007].

Langsdale, S., A. Beall, J. Carmichael, S. Cohen et C. Forster. « Description of the model », dans *Participatory Integrated Assessment of Water Management and Climate Change in the Okanagan Basin*, British Columbia, S. Cohen et T. Neale (éd.), rapport remis au Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 2006, <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/a846_e.pdf>, [consultation : 15 août 2007]

Larocque, S.J. et D.J. Smith. « Little Ice Age glacial activity in the Mt. Waddington area, British Columbia Coast Mountains, Canada », *Revue canadienne des sciences de la Terre*, vol. 40, 2003, pp. 1413–1436.

Larocque, S.J. et D.J. Smith. « Calibrated Rhizocarpon spp. growth curve for the Mount Waddington Area, British Columbia Coast Mountains, Canada », *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, vol. 36, 2004, pp. 407–418.

Lee, K. *Compass and Gyroscope: Integrating Science and Politics for the Environment*, Island Press, Washington, DC, 1993, 255 p.

Leth, R.M. et P.H. Whitfield. « Evidence of climate change effects on the hydrology of streams in south-central B.C. », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 23, 1998, pp. 219–230.

Lemieux, C.J. et D. Scott. « Climate change, biodiversity conservation, and protected areas planning in Canada », *Le Géographe canadien*, vol. 49, n° 4, 2005, pp. 384–397.

Levings, D.D. « Strategies for restoring and developing fish habitats in the Strait of Georgia–Puget Sound inland sea, northeast Pacific Ocean », *Marine Pollution Bulletin*, vol. 23, 1991, pp. 417–422.

Levy, D.A. « Potential impacts of global warming on salmon production in the Fraser River watershed », *Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, 1889, 1992.

Lewis, D.H. et D.J. Smith. « Little Ice Age glacial activity in Strathcona Provincial Park, Vancouver Island, British Columbia, Canada », *Revue canadienne des sciences de la Terre*, vol. 41, 2004, pp. 285–297.

Liebscher, H. *Ground water action plan, conservation and protection, Pacific and Yukon region*, rapport inédit, Ground Water-Inland Waters/ Lands, Vancouver (Colombie-Britannique), 1987.

Lindgren E., L. Talleklint et T. Polfeldt. « Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick (*Ixodes ricinus*) », *Environmental Health Perspectives*, vol. 108, n° 2, 2000, pp. 119–123.

Liteanu, E. *The role of aquifer heterogeneity in saltwater intrusion modelling, Saturna Island, British Columbia*, thèse de maîtrise, Simon Fraser University, Vancouver (Colombie-Britannique), 2003.

Logan, J.A. et J.A. Powell. « Ghost forests, global warming, and the mountain pine beetle (Coleoptera: Scolytidae) », *American Entomologist*, vol. 47, 2001, pp. 160–173., <http://www.usu.edu/beetle/documents/Logan_Powell01.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Loukas, A., L. Vasiliades et N.R. Dalezios. « Climate change implications on flood response of a mountainous watershed », *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*, vol. 4, n° 4–5, 2004, pp. 331–347.

Lowell, T.V. « As climate changes, so do glaciers », *Proceedings of the National Academy of Science*, vol. 97, n° 4, 2000, pp. 1351–1354.

Luckman, B.H. « The Little Ice Age in the Canadian Rockies », *Geomorphology*, vol. 32, 2000, pp. 357–384.

Luitzen, B., J. O'Callaghan, R. Hillen, R. Misdorp, B. Mieremet, K. Ries, J.R. Spradley et J. Titus (éd.). *Global climate change and the rising challenge of the sea*, rapport du Sous-groupe de la gestion des zones côtières, Groupe de travail des initiatives stratégiques du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Ministère des Transports, des Travaux publics et de la Gestion de l'eau, La Haye, Pays-Bas, 1992, 27 p.

MacDonald, S., M. Foreman, T. Farrell, I. Williams, J. Grout, A. Cass, J. Woodey, H. Enzenhoffer, C. Clarke, R. Houtman, E. Donaldson et D. Barnes. *The influence of extreme water temperatures on migrating Fraser River sockeye salmon* (Oncorhynchus nerka) *during the 1998 spawning season*, Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 2326, 2000.

Mantua, N.J. et R.C. Francis. « Natural climate insurance for Pacific northwest salmon and salmon fisheries: finding our way through the entangled bank », dans *Fish in our Future? Perspectives on Fisheries Sustainability*, E.E. Knudsen et D. MacDonald (éd.), American Fisheries Society. Special Publication 43, 2004, pp. 121–134.

Mantua, N.J., S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace et R.C. Francis. « A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 78, 1997, pp. 1069–1079.

Marchak, P., S. Aycock et D. Herbert. *Falldown: forest policy in British Columbia*, David Suzuki Foundation, Vancouver (Colombie-Britannique), 1999.

Matthews, R. « Using a social capital perspective to understand social and economic development in coastal British Columbia », *Horizons: Policy Research Initiative*, vol. 63, 2003, pp. 25–29.

Matthews, R. et N. Young. « Development on the margin: development orthodoxy and the success of Lax Kw'alaams », *British Columbia Journal of Aboriginal Economic Development*, vol. 4, n° 2, 2005, pp. 100–108.

Matthews, R. et N. Young. "Globalization and 'repositioning' in coastal British Columbia", dans *Reading Sociology–A Canadian Sociological Association Reader*, L. Tepperman et H. Dickinson (éd.), Oxford University Press, 2007.

Mazzotti, S., T. Lambert, M. Van der Kooij et A. Mainville. *Coastal subsidence and relative sea-level rise in the Fraser River delta, Greater Vancouver, BC, from a combined CTM-InSAR, GPS, leveling, and tide gauge analysis*, réunion d'automne de l'American Geophysical Union tenue à San Francisco, Californie, 2006, pp. 11–15.

McBean, G. et D. Henstra. Climate change, natural hazards and cities, Institute for Catastrophic Loss Reduction, *Research Paper Series*, n° 31, 2003, 11 p., <http://www.dmrg.org/resources/McBean.Henstra-Climate%20change.%20natural%20hazards%20and%20cities.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

McFarlane, G. A., et R. J. Beamish. « Sardines return to British Columbia waters », dans *Proceedings of the 1998 Science Board Symposium on the Impacts of the 1997/98 El Nino Event on the North Pacific Ocean and its Marginal Seas, North Pacific Marine Science Organization (PICES)*, Rapport scientifique n° 10, 1998, 5 p., <http://www.pices.int/publications/scientific_reports/Report10/default.aspx>, [consultation : 18 mai 2007].

McGeehin, M.A. et M. Mirabelli. « The potential impacts of climate variability and change on temperature-related morbidity and mortality in the United States », *Environmental Health Perspectives*, vol. 9, supplément n° 2, 2001, pp. 185–189.

McKenzie, D., Z. Gedalof, D.L. Peterson et P. Mote. « Climatic change, wildfire, and conservation », *Conservation Biology*, vol. 18, 2004, pp. 890–902.

McKinnell, S.M., C.C. Wood, D.T. Rutherford, K.D. Hyatt et D.W. Welch. « The demise of Owikeno Lake sockeye salmon », *North American Journal of Fisheries Management*, vol. 21, 2001, pp. 774–791.

McMichael, A.J., D.H. Campbell-Lendrum, C.F. Corvalán, K.L. Ebi, A. Githeko, J.D. Scheraga et A. Woodward. *Climate change and human health — risks and responses*, Organisation mondiale de la santé, Geneve, Suisse, 2003, 322 p.

McPhaden, M.J. et D. Zhang. « Slowdown of the meridional overturning circulation in the upper Pacific Ocean », *Nature*, vol. 415, 2002, pp. 603–608.

McRae, D. *Regional population trends in BC*, présentation faite le 19 novembre 1997 à la 27e conférence annuelle de l'Association of Professional Economists par le BC Ministry of Finance and Corporate Relations, 1997, 19 p., <http://www.bcstats.gov.bc.ca/data/pop/pop/apeb97.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Menounos, B., J. Koch, G. Osborn, J.J. Clague et D. Mazzucchi. « Early Holocene glacier advance, southern Coast Mountains, British Columbia, Canada », *Quaternary Science Reviews*, vol. 23, 2004, pp. 1543–1550.

Merritt, W., Y. Alila, M. Barton, B. Taylor, S. Cohen et D. Neilsen. « Hydrologic response to scenarios of climate change in subwatersheds of the Okanagan Basin, British Columbia », *Journal of Hydrology*, vol. 326, 2006, pp. 79–108.

Miles, E.L., A.K. Snover, A.F. Hamlet, B. Callahan et D. Fluharty. « Pacific Northwest regional assessment: the impacts of climate variability and climate change on the water resources of the Columbia River basin », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 36, n° 2, 2000, pp. 399–420.

Miles, M. and Associates. *B.C.'s climate related observation networks: an adequacy review*, BC Ministry of the Environment, Victoria (Colombie-Britannique), 2003, 107 p., <ftp://ftp.env.gov.bc.ca/pub/outgoing/Climate%20Change/>, [consultation : 25 mai 2007].

Mills, J.N., T.L. Yates, T.G. Ksiazek, C.J. Pete et J.E. Childs. « Long term studies of Hantavirus reservoir populations in the southwestern United States: rationale, potential, and methods », *Emerging Infectious Diseases*, vol. 5, 1999, pp. 95–101.

Milly, P.C.D., R.T. Wetherald, K.A. Dunne et T.L. Delworth. « Increasing risk of great floods in a changing climate », *Nature*, vol. 415, 2002, pp. 514–517.

Mitchell, W.R., R.N. Green, G.D. Hope et K. Klinka. *Methods for biogeoclimatic ecosystem mapping*, BC Ministry of Forestry, Resources Report 89002-KL, 1989, 33 p., <http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/docs/rr/rr89002-kl.pdf>, [consultation : 6 août 2007].

Moore, R.D. « Stream temperature patterns in British Columbia, Canada, based on routine spot measurements », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 31, 2006, pp. 1–16.

Moore, R.D., D.L. Spittlehouse et A. Story. « Riparian microclimate and stream temperature response to forest harvesting — a review », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 41, 2005, pp. 813–834.

Moorhouse, J. « Water crisis », *Penticton Herald*, 31 juillet, 2003.

Morrison, J., M.C. Quick et M.G.C. Foreman. « Climate change in the Fraser River watershed: flow and temperature projections », *Journal of Hydrology*, vol. 263, 2002, pp. 230–244.

Morshed, M.G. « West Nile virus in North America: coast to coast? », *Canadian Medical Proficiency Testing Connections*, vol. 64, 2003, pp. 2–3.

Morton, A., R. Routledge, C. Peet et A. Ladwig. « Sea lice Lepeophtheirus salmonis infection rates on juvenile pink (*Oncorhynchus gorbuscha*) and chum (*Oncorhynchus keta*) salmon in the nearshore marine environment of British Columbia, Canada », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 61, 2005, pp. 147–157.

Mote, P.W. « Twentieth-century fluctuation and trends in temperature, precipitation, and mountain snowpack in the Georgia Basin–Puget Sound region », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 28, n° 4, 2003a, pp. 567–585.

Mote, P.W. « Trends in snow water equivalent in the Pacific Northwest and their climatic causes », *Geophysical Research Letters*, vol. 30, n° 12, 2003b, pp. 1601–1604.

Mote, P.W. « Trends in temperature and precipitation in the Pacific Northwest during the twentieth century », *Northwest Science*, vol. 77, n° 4, 2003c, pp. 271–282.

Mote, P.W. et A.F. Hamlet. « Anthropogenic climate change and snow in the Pacific Northwest », dans Proceedings of the 69th Annual Meeting of the Western Snow Conference, tenue du 16 au 19 avril 2001 à Sun Valley, Idaho, 2001, pp. 51–52.

Mote, P.W., et D. Canning, D. Fluharty, R. Francis, I. Franklin, A. Hamlet, M. Hershman, M. Holmberg, K. Ideker, W. Keeton, D. Lettenmaier, R. Leung, N. Mantua, E. Miles, B. Noble, H. Parandvash, D.W. Peterson, A. Snover, S. Willard. *Impacts of climate variability and change: Pacific Northwest*, rapport du Pacific Northwest Regional Assessment Group pour le United States Global Change Research Program, Joint Institute for the Study of Atmosphere and ocean/SMA Climate Impacts Group, University of Washington, Seattle, Washington, 1999.

Mote, P.W., A.F. Hamlet, M.P. Clark et D.P. Lettenmaier. « Declining snowpack in western North America », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 86, 2005, pp. 39–49.

Mote, P.W., E.A. Parson, A.F. Hamlet, K.N. Ideker, W.S. Keeton, D.P. Lettenmaier, N.J. Mantua, E.L. Miles, D.W. Peterson, D.L. Peterson, R. Slaughter et A.K. Snover. « Preparing for climate change: the water, salmon and forests of the Pacific Northwest », *Climatic Change*, vol. 61, n° 1–2, 2003, pp. 45–88.

Muckle, R. *The First Nations of British Columbia: An Anthropological Survey*, University of British Columbia Press, Vancouver (Colombie-Britannique), 1998. 146 p.

Mudie, P.J., A. Rochon et E. Levac. « Palynological records of red tide–producing species in Canada: past trends and implications for the future », *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 180, 2002, pp. 159–186.

Mullens, A. « I think we have a problem in Victoria: MDs respond quickly to toxoplasmosis outbreak in BC », *Journal de l'association médicale canadienne*, vol. 154, n° 11, 1996, pp. 1721–1724.

Naylor, R., J. Eagle et W.L. Smith. « Salmon aquaculture in the Pacific Northwest: a global industry », *Environment*, vol. 45, n° 8, 2003, pp. 18–39.

Neale, T., J. Carmichael et S. Cohen. « Urban water futures: exploring development, management and climate change impacts on urban water demand », dans *Participatory Integrated Assessment of Water Management and Climate Change in the Okanagan Basin*, British Columbia, S. Cohen et T. Neale (éd.), Environnement Canada et University of British Columbia, Vancouver (Colombie-Britannique), 2006, pp. 7–35.

Neilsen, D., W. Koch, W. Merritt, G. Frank, S. Smith, Y. Alila, J. Carmichael, T. Neale et R. Welbourn. « Risk assessment and vulnerability — case studies of water supply and demand », dans *Expanding the Dialogue on Climate Change and Water Management in the Okanagan Basin*, British Columbia, S. Cohen, D. Neilsen et R. Welbourn (éd.), Gouvernement du Canada, 2004a, pp. 115–135, <http://www.ires.ubc.ca/downloads/publications/layout_Okanagan_final.pdf>, [consultation : 25 juillet 2007].

Neilsen, D., W. Koch, S. Smith et G. Frank. « Crop water demand scenarios for the Okanagan Basin », dans *Expanding the Dialogue on Climate Change and Water Management in the Okanagan Basin*, British Columbia, S. Cohen, D. Neilsen et R. Welbourn (éd.), Gouvernement du Canada, 2004b, pp. 89–112, <http://www.ires.ubc.ca/downloads/publications/layout_Okanagan_final.pdf>, [consultation : 25 juillet 2007].

Neilsen, D., C.A.S. Smith, W. Koch, G. Frank, J. Hall et P. Parchomchuk. *Impact of climate change on irrigated agriculture in the Okanagan Valley, British Columbia*, rapport rédigé pour le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario), 2001, 29 p.

Neilsen, D., S. Smith, G. Frank, W. Koch, Y. Alila, W. Merritt, B. Taylor, M. Barton, J. Hall et S. Cohen. « Potential impacts of climate change on water availability for crops in the Okanagan Basin, British Columbia », *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 86, 2006, pp. 921–936.

Neilsen, G.H., E.J. Hogue, T. Forge et D. Neilsen. « Surface application of mulches and biosolids affect orchard soil properties after 7 years », *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 83, 2003, pp. 131–137.

Noakes, D.J., R.J. Beamish et R. Gregory. *R. British Columbia's commercial salmon industry*, North Pacific Anadromous Fish Commission, Document 642, 2002, 13 p.

Northcote, T.G. « Prediction and assessment of potential effects of global environmental change on freshwater sport fish habitat in British Columbia », *Geojournal*, vol. 28, 1992, pp. 39–49.

Northcote, T.G. « Effects of human population growth on the Fraser and Okanagan River systems, Canada: a comparative inquiry », *GeoJournal*, vol. 40, 1996, pp. 127–133.

O'Brien, K.L. et R.M. Leichenko. « Double exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization », *Global Environmental Change*, vol. 10, n° 3, 2000, pp. 221–232.

Ohlson, D.W., G.A. McKinnon et K.G. Hirsch. « A structured decision-making approach to climate change adaptation in the forest sector », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, n° 1, 2005, pp. 672–677.

Ommer, R.E. The impact of social and environmental restructuring on environmental and human health in Canada, Coasts Under Stress, Victoria (Colombie-Britannique), 2006, 7 p., <http://www.coastsunderstress.ca/pubs/CUSResultsSummary2006.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Ommer, R.E. *Coasts Under Stress: Restructuring and Social-Ecological Health*, McGill-Queens University Press, Montréal (Québec), 2007, 624 p.

O'Neil, J.D., B. Elias et A. Yassi. « Poisoned food: cultural resistance to the contaminations discourse in Nunavik », *Arctic Anthropology*, vol. 34, 1997, pp. 29–40.

Overpeck, J.T., P.J. Bartlein et T.I. Webb. « Potential magnitude of future vegetation change in eastern North America: comparisons with the past », *Science*, vol. 254, 1991, pp. 692–695.

Pacific *Fisheries Resource Conservation Council. Implementing the habitat and ecosystem components of DFO's wild salmon policy*, Pacific Fisheries Resource Conservation Council, Vancouver (Colombie-Britannique), 2006, 34 p., <http://www.fish.bc.ca/files/R-42%20Advisory-DFOWildSalmonPolicy_2006_0_Complete.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Page, J., S. Enns, T. Malinick et R. Matthews. « Should I stay or should I go?: investigating resilience in BC's coastal communities », dans *Sociology in Canada – a Canadian Sociological Association Reader*, L. Tepperman et H. Dickinson (éd.), Oxford University Press, Toronto (Ontario), 2007, pp. 260-263.

Palmer, T.N. et J. Ralsanen. « Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate », Nature, vol. 415, 2002, pp. 512–514.

Parker, W.C., S.J. Colombo, M.L. Cherry, M.D. Flannigan, S. Greifenhagen, R.S. McAlpine, C. Papadopol et T. Scarr. « Third millennium forestry: what climate change might mean to forests and forest management in Ontario », *The Forestry Chronicle*, vol. 76, 2000, pp. 445–463.

Parkinson, A.J. et J.C. Butler. « Potential impacts of climate change on infectious diseases in the Arctic », *International Circumpolar Health*, vol. 64, n° 5, 2005, pp. 478–486.

Payne, J.T., A.W. Wood, A.F. Hamlet, R.N. Palmer et D.P. Lettenmaier. « Mitigating the effects of climate change on the water resources of the Columbia River basin », *Climatic Change*, vol. 62, n° 3, 2004, pp. 233–256.

Pearse, P.H. *Turning the tide: a new policy for Canada's Pacific fisheries*, rapport final de la Commission de la politique en matière des pêches du Pacifique, Ministère de l'Approvisionnement et des Services, Ottawa (Ontario), 1982.

Pearse, P.H. et P.A. Larkin. *Managing salmon in the Fraser: executive summary*, rapport d'une enquête menée sur le saumon du fleuve Fraser, remis au ministre de Pêches et Océans Canada en novembre 1992, pp. 3.

Pêches et Océans Canada. *Fish stocks of the Pacific coast*, Pêches et Océans Canada, 2001, 162 p., <http://www-comm.pac.dfo-mpo.gc.ca/publications/specieshook/PacificFishStocks.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Pêches et Océans Canada. *L'état de l'océan Pacifique en 2005*, Pêches et Océans Canada, Secrétariat canadien de consultation scientifique, Rapport sur l'état de l'océan 2006/01, 2006a, 72 p., <http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/sci/psarc/OSRs/Etatoceans2005Finale.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Pêches et Océans Canada. Pacific Region, Integrated Fisheries Management Plan, Salmon, Southern BC, June 1, 2006–May 31, 2007, Pêches et Océans Canada, 2006b, 113 p., <www.pac.dfo-mpo.gc.ca/ops/fm/fishmgmt_e.htm>, [consultation : 18 mai 2007].

Pêches et Océans Canada. Pacific Region, Integrated Fisheries Management Plan, Salmon, Northern BC, June 1, 2006–May 31, 2007, Pêches et Océans Canada, 2006c, 87 p., <www.pac.dfo-mpo.gc.ca/ops/fm/fishmgmt_e.htm>, [consultation : 18 mai 2007].

Pederson, L. Prince George timber supply area: rationale for allowable annual cut AAC determination, BC Ministry of Forests, Forest Analysis and Inventory branch, Victoria (Colombie-Britannique), 2004, <http://www.for.gov.bc.ca/hts/tsr1/ration/tsa/tsa24/httoc.htm>, [consultation : 20 mai 2007].

Perez-Garcia, J., L.A. Joyce, A.D. McGuire et X. Xiao. « Impacts of climate change on the global forest sector », *Climatic Change*, vol. 54, 2002, pp. 439–461.

Pezzey, J. *Economic analysis of sustainable growth and sustainable development*, Banque mondiale, Département de l'environnement, Document de travail n° 15, Washington, DC, 1989.

Pojar, J. et D.V. Meidinger. *Ecosystems of British Columbia, BC Ministry of Forests, Forest Science Program*, Série des rapports spéciaux, n° 6, 1991, 330 p., <http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Srs/Srs06.htm>, [consultation : 18 mai 2007].

Pulwarty, R.S. et K.T. Redmond. « Climate and salmon restoration in the Columbia River basin: the role and usability of seasonal forecasts », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 78, 1997, pp. 381–397.

Quilty, E.J., P. Hudson et T. Farahmand. *Living on the edge: climate change and salmon in Lang Creek, British Columbia*, rapport inédit rédigé par la Aquatic Informatics Inc. à l'intention du BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2004, 68 p., <wlapwww.gov.bc.ca/sry/p2/eq/special_studies/lang_creek/lang_creek.pdf> [consultation : 18 mai 2007].

Raphael, D. « From increasing poverty to social disintegration: how economic inequality affects the health of individuals and communities », dans *Unhealthy Times*, P. Armstrong, H. Armstrong et D. Coburn (éd.), Oxford University Press, Oxford, Royaume-Uni, 2001, pp. 223–246.

Raunet, D. *Without Surrender, Without Consent: A History of the Nishga Land Claims*, Douglas and McIntyre, Vancouver (Colombie-Britannique), 1984, 244 p.

Raven, J., K. Caldeira, H. Elderfield, P. Liss et C. Turley. *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*, The Royal Society, Londres, Royaume-Uni, Document strategique 12e05, 2005, 60 p.

Reed, M.G. et A.M. Gill. « Tourism, recreational and amenity values in land allocation: an analysis of institutional arrangements in the postproductivist era », *Environment and Planning A*, vol. 29, n° 11, 1997, pp. 2019–2040.

Rehfeldt, G.E., W.R. Wykoff et C.Y. Cheng. « Physiologic plasticity, evolution and impacts of a changing climate on Pinus contorta », *Climatic Change*, vol. 50, 2001, pp. 355–376.

Rehfeldt, G.E., C.C. Ying, D.L. Spittlehouse et D.A. Hamilton. « Genetic responses to climate for Pinus contorta: niche breadth, climate change, and reforestation », *Ecological Monographs*, vol. 69, 1999, pp. 375–407.

Ressources naturelles Canada. *Energy Star®, EnerGuide et R-2000*, Ressources naturelles Canada, Office de l'efficacité énergetique, 2006, <http://oee.nrcan.gc.ca/residentiel/energystar-energuide-r2000.cfm?attr=4>, [consultation : 18 mai 2006].

Ressources naturelles Canada. *Programme sur le dendroctone du pin ponderosa* (DPP), 2007, <http://mpb.cfs.nrcan.gc.ca/map_f.html>, [consultation : 31 octobre 2007].

Riddell, B. Pacific salmon resources in central and north coast British Columbia, Pacific Fisheries Resource Conservation Council, Vancouver (Colombie-Britannique), 2004, <http://www.fish.bc.ca/files/SalmonResources-North_2004_0_Complete.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Rivera, A., D.M. Allen et H. Maathuis. « Climate variability and change — groundwater resources », dans *Threats to Water Availability in Canada*, Environnement Canada, Institut national de recherche sur les eaux, 2004, pp. 77–83.

Robinson, C.L.K. et D.M. Ware. « Simulated and observed response of the southwest Vancouver Island pelagic ecosystem to oceanic conditions in the 1990s », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 56, 1994, pp. 2433–2443.

Rosenau, M.L. et M. Angelo. *Conflicts between people and fish for water: two British Columbia salmon and steelhead rearing streams in need of flows*, rapport inédit remis au Pacific Fisheries Resource Conservation Council, Vancouver (Colombie-Britannique), 2003 <http://www.fish.bc.ca/files/ConflictsPeopleFish_2003_0_Complete.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Rosenberg, S.M., I.R. Walker, R.W. Mathewes et D.J. Hallett. « Midge-inferred Holocene climate history of two subalpine lakes in southern British Columbia », *The Holocene*, vol. 14, 2004, pp. 258–271.

Royal BC Museum. Climate change map series, Royal BC Museum, 2005a <http://www.pacificclimate.org/impacts/rbcmuseum/>, [consultation : 20 mai 2007].

Royal BC Museum. Cooling and heating energy requirements by 2080 with various climate change scenarios, Royal BC Museum, 2005b <http://www.pacificclimate.org/impacts/rbcmuseum/>, [consultation : 20 mai 2007].

Ryder, J.M. et B. Thomson. « Neoglactation in the southern Coast Mountains of British Columbia: chronology prior to the Neoglacial maximum », *Revue canadienne des sciences de la Terre*, vol. 23, 1986, pp. 273–287.

Safranyik, L. et A.L. Carroll. « The biology and epidemiology of the mountain pine beetle in lodgepole pine forests », dans *The Mountain Pine Beetle: A Synthesis of its Biology, Management and Impacts on Lodgepole Pine*, L. Safranyik et B. Wilson (éd.), Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique, 2006, pp. 3–36.

Safranyik, L., D.M. Shrimpton et H.S. Whitney, H.S. « An interpretation of the interaction between lodgepole pine, the MPB and its associated blue stain fungi in western Canada », dans *Management of Lodgepole Pine Ecosystems*, D.M. Baumgartner (éd.), Washington State University, Cooperative Extension Services, Pullman, Washington, 1975, pp. 406–428.

Sandford, B. *Climate change in the Columbia basin*, Columbia Basin Trust, Revelstoke (Colombie-Britannique), 2006, 20 p.

Schumacher, R.S. et R.H. Johnson. « Organization and environmental properties of extreme-rain-producing mesoscale convective systems », *Monthly Weather Review*, vol. 133, 2005, pp. 961–976.

Schweigert, F.J. Effects of fasting and lactation on blood chemistry and urine composition in the grey seal Halichoerus grypus », *Comparative Biochemistry and Physiology*, vol. 105A, 1993, pp. 353–357.

Scibek, J. et D.M. Allen. « Comparing the responses of two high permeability, unconfined aquifers to predicted climate change », *Global and Planetary Change*, vol. 50, 2006, pp. 50–62.

Scott, D. Climate change and Canada s national park system: scenarios and impacts. Parcs Canada, *Ecosystem Science and Review Reports*, n° 19, 2003a, cédérom.

Scott, D. *Climate change and tourism in the mountain regions of North America*, présentation faite à la première Conférence internationale sur le changement climatique et le tourisme tenue du 9 au 11 avril 2003 à Djerba, Tunésie, 2003b, 9 p., <http://www.world-tourism.org/sustainable/climate/pres/daniel-scott.pdf>, [consultation : 25 mai 2007].

Scott, D. « Global environmental change and mountain tourism », dans *Tourism and Global Environmental Change*, S. Gossling et C.M. Hall (éd.), Routledge, Londres, Royaume-Uni, 2006a, pp. 54–75.

Scott, D. « US ski industry adaptation to climate change: hard, soft and policy strategies », dans *Tourism and Global Environmental Change*, S. Gossling et C.M. Hall (éd.), Routledge, Londres, Royaume-Uni, 2006b, pp. 262–285.

Scott, D. et C. Lemieux. « Climate change and protected area policy and planning in Canada », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, 2005, pp. 696–703.

Scott, D. et R. Suffling (éd.). *Climate change and Canada's national park system*, Environnement Canada et Parcs Canada, 2000, 218 p., <http://www.fes.uwaterloo.ca/geography/faculty/danielscott/PDFFiles/CC&Canada%20National%20Parks-Report%202000.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Scott, D., G. McBoyle et B. Mills. « Climate change and the skiing industry in southern Ontario, Canada: exploring the importance of snowmaking as a technical adaptation », *Climate Research*, vol. 23, 2003, pp. 171–181.

Scott, D., G. Wall et G. McBoyle. « Climate change and tourism and recreation in North America: exploring regional risks and opportunities », dans *Tourism, Recreation and Climate Change*, C.M. Hall et J. Higham (éd.), Channel View, Clevedon, Royaume-Uni, 2005, pp. 115–129.

Sécurité publique Canada. Base de données canadienne sur les désastres, Sécurité publique Canada, 2006, <http://www.sp-ps.gc.ca/res/em/cdd/index-fr.asp>, [consultation : 18 mai 2006].

Seely, B., J. Nelson, R. Wells, B. Peter, M. Meitner, A. Anderson, H. Harshaw, S. Sheppard, F.L. Bunnell, H. Kimmins et D. Harrison. « The application of a hierarchical, decision-support system to evaluate multi-objective forest management strategies: a case study in northeastern British Columbia », *Canada Forest Ecology and Management*, vol. 199, 2004, pp. 283–305.

Shafer, S.L., P.J. Bartlein et R.S. Thompson. « Potential changes in the distributions of western North America tree and shrub taxa under future climate scenarios », *Ecosystems*, vol. 4, 2001, pp. 200–215.

Shaw, J., R.B. Taylor, D.L. Forbes, M.H. Ruz et S. Solomon. Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise, *Commission géologique du Canada, Bulletin* 505, 1998, 79 p.

Shepard, M.P. et A.W. Argue. *The 1985 Pacific Salmon Treaty: sharing the burdens and benefits*, University of British Columbia Press, Vancouver (Colombie-Britannique), 2005, 304 p.

Shepherd, P., J. Tansey et H. Dowlatabadi. « Context matters: what shapes adaptation to water stress in the Okanagan? », *Climatic Change*, vol. 78, n° 1, 2006, pp. 31–62.

Sieben, B.G., D.L. Spittlehouse, R.A. Benton et J.A. McLean. « A first approximation of the effect of climate warming on the white pine weevil hazard in the Mackenzie River drainage basin », dans *Mackenzie Basin Impact Study Final Report*, S.J. Cohen (éd.), Environnement Canada, 1997, pp. 166–177.

Slaney, T.L., K.D. Hyatt, T.G. Northcote et R.J. Fielden. « Status of anadromous salmon and trout in British Columbia and Yukon », *Fisheries*, vol. 21, 1996, pp. 20–35.

Smit, B., O. Pilifosova, I. Burton, B. Challenger, S. Huq, R.J.T. Klein et G. Yohe. « Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity », dans Climate *Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2001, pp. 877–912.

Smith, B.E. Planning for agriculture, BC Provincial Agricultural Land Commission, 1998 <http://www.landcommission.gov.bc.ca/publications/planningepta_main.htm>, [consultation : 18 mai 2007].

Smith, C.L., J. Gilden et B. Steel. « Sailing the shoals of adaptive management: the case of salmon in the Pacific Northwest », *Environmental Management*, vol. 225, 1998, pp. 671–681.

Smoyer-Tomic, K.E., R. Kuhn et A. Hudson. « Heat wave hazards: an overview of heat waves impacts in Canada », *Natural Hazards*, vol. 28, 2003, pp. 463–485.

Sohngen, B. et R. Sedjo. « Impacts of climate change on forest product markets: implications for North American producers », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, 2005, pp. 669–674.

Solow, R. « Sustainability: an economist perspective », dans *Economics of the Environment: Selected Readings*, R. Dorfman et S. Dorfman (éd.), W.W. Norton and Company, New York, New York, 1991, pp. 179–187.

Spittlehouse, D.L. « Water availability, climate change and the growth of Douglas-fir in the Georgia Basin », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 28, 2003, pp. 673–688.

Spittlehouse, D.L. « Integrating climate change adaptation into forest management », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, 2005, pp. 691–695.

Spittlehouse, D.L. et R.B. Stewart. « Adapting to climate change in forest management », *Journal of Ecosystems and Management*, vol. 41, 2003, pp. 7–17.

Stahl, K., R.D. Moore et I.G. McKendry. « The role of synoptic-scale circulation in the linkage between large-scale ocean-atmosphere indices and winter surface climate in British Columbia, Canada », *International Journal of Climatology*, vol. 264, 2006, pp. 541–560.

Statistique Canada. *Recensement : populations, logements et géographie*, Statistique Canada, 2001, <http://www12.statcan.ca/francais/census01/Products/Standard/popdwell/tables.cfm>, [consultation : 18 mai 2007].

Statistique Canada. *Population projetée par groupe d'âge selon trusets scénarios de projection au 1er juillet pour les années 2006, 2011, 2016, 2021, 2026 et 2031*, Statistique Canada, 2005, <http://www40.statcan.ca/l02/cst01/demo08a_f.htm>, [consultation : 18 mai 2007].

Stenseth, N.C., A. Mysterud, G. Ottersen, J.W. Hurrell, K. Chan et M. Lima. « Ecological effects of climate fluctuations », *Science*, vol. 297, 2002, pp. 1292–1296.

Stephen, C., M. Johnson et A. Bell. « First reported case of Hantavirus Pulmonary Syndrome in Canada », *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, vol. 20, 1994, pp. 121–125.

Stewart, I.T., D.R. Cayan et M.D. Dettinger. « Changes in snowmelt runoff timing in western North America under a 'business as usual' climate change scenario », *Climatic Change*, vol. 62, 2004, pp. 217–232.

Stewart, R.B., E. Wheaton et D.L. Spittlehouse. « Climate change: implications for the boreal forest », dans *Emerging Air Issues for the 21st Century: The Need for Multidisciplinary Management*, A.H. Legge et L.L. Jones (éd.), Air and Waste Management Association, Pittsburg, Pennsylvania, 1998, pp. 86–101.

Storlazzi, C.D., C.M. Willis et G.B. Griggs. « Comparative impacts of the 1982–3 and 1997–8 El Niño winters on the central California coast », *Journal of Coastal Research*, vol. 16, 2000, pp. 1022–1036.

Subbotina, M.M., R.E. Thomson et A.B. Rabinovich. « Spectral characteristics of sea level variability along the west coast of North America during the 1982–83 and 1997–98 El Niño events », *Progress in Oceanography*, vol. 49, 2001, pp. 353–372.

Suffling, R. et D. Scott. « Assessment of climate change effects on Canada's national park system », *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 74, 2002, pp. 117–139.

Summit Environmental. Trepanier landscape unit water management plan, Regional District of Central Okanagan, Kelowna (Colombie-Britannique), 2004, 256 p., <http://www.regionaldistrict.com/docs/planning/Final_Report_Text.pdf>, [consultation : 20 mai 2007].

Sydneysmith R., R. Matthews, T. Satterfield et N. Young. *The co-management of climate change in coastal communities of British Columbia: social capital, trust and capacity*, Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, rapport final du Projet A1115, 2007, 148 p.

Tansey, J. et S. Langsdale. « Exploring anticipatory adaptation in the Okanagan, BC », dans *Expanding the Dialogue on Climate Change and Water Management in the Okanagan Basin*, British Columbia, S.J. Cohen, D. Neilsen et R. Welbourn (éd.), Environnement Canada, 2004, pp. 165–174.

Taylor, F.J.R. « Current problems with harmful phyto-plankton blooms in British Columbia water », dans *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*, T.J. Smayda et Y. Shimizu (éd.), Elsevier Scientific Publications, Amsterdam, Pays-Bas, 1993, pp. 699–703.

Taylor, S.W. et A.L. Carroll. « Disturbance, forest age dynamics and mountain pine beetle outbreaks in BC: a historical perspective », dans *Challenges and Solutions: Proceedings of the Mountain Pine Beetle Symposium*, T.L. Shore, J.E. Brooks et J.E. Stone (éd.), Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique, 2004, pp. 41–51.

Taylor, S.W., A.L. Carroll, R.I. Alfaro et L. Safranyik. « Forest, climate and mountain pine beetle outbreak dynamics in western Canada », dans *The Mountain Pine Beetle: A Synthesis of Biology, Management, and Impacts on Lodgepole Pine*, L. Safranyik et B. Willson (éd.), Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique, 2006, pp. 67–94.

Tennant, P. *Aboriginal Peoples and Politics: The Indian Land Question in British Columbia, 1849–1989*, University of British Columbia Press, Vancouver (Colombie-Britannique), 1990, 305 p.

Timmermann, A. « Detecting the nonstationary response of ENSO to greenhouse warming », *Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 56, n° 14, 1999, pp. 2313–2325.

Tobin, G. « Sustainability and community resilience: the holy grail of hazards planning? », *Environmental Hazards*, vol. 1, 1999, pp. 13–25.

Tourism BC. British Columbia tourism top ten facts, Tourism BC, 2005a <http://www.tourismbc.com/template.asp?id=10>, [consultation : 18 mai 2007].

Tourism BC. *Characteristics of the commercial nature based tourism industry in British Columbia*, Tourism BC, Research Services, 2005b, 101 p., <http://www.tourismbc.com/PDF/Characteristics%20of%20Commercial%20Nature-Based%20Tourism.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Transports Canada. On the move — the facts autumn 2005, Transports Canada, Region du Pacifique, Transport Trends, 2005 <http://www.tc.gc.ca/pacific/publication/tt_autumn05.htm>, [consultation : 18 mai 2007].

Trenberth, K.E. et J.W. Hurrell. « Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific », *Climate Dynamics*, vol. 9n, 1994, pp. 303–319.

Troendle, C.A. et J.E. Nankervis. *Estimating additional water yield from changes in management of national forests in the North Platte basin*, Bureau of Reclamation, Platte River Office, Lakewood, Colorado, 2000, 51 p.

University of British Columbia. *Climate BC: a program to generate climate normal data for genecology and climate change studies in western Canada*, University of British Columbia, Faculty of Forestry, Centre for Forest Gene Conservation, non daté, <http://genetics.forestry.ubc.ca/cfgc/climate-models.html>, [consultation : 18 mai 2007].

Uysal, M. « The determinants of tourist demand: a theoretical perspective », dans *The Economic Geography of the Tourist Industry*, D. Ioannides et K.G. Debbage (éd.), Routledge, Londres, Royaume-Uni, 1998, pp. 79–97.

Valentine, K.W.G., P.N. Sprout, T.E. Baker et L.M. Lavkulich. *The soil landscapes of British Columbia*, BC Ministry of Environment, Resource Analysis Branch, 1978, 19 p.

Vancouver Economic Development. Key sectors, Vancouver Economic Development, 2006, <http://www.vancouvereconomic.com/key_sectors/default.htm>, [consultation : 18 mai 2007].

Van Eeden, S.F., W. Tan, T. Suwa, H. Mukae, T. Terashima, T. Fujii, D. Qui, R. Vincent et J. Hogg. « Cytokines involved in the systemic inflammatory response induced by exposure to particulate matter air pollutants PM10 », *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 164, n° 5, 2001, pp. 826–830.

Vedal, S. *Health effects of wood smoke*, rapport inédit rédigé à l'intention de l'Agent responsable pour la santéde la province de Colombie-Britannique, BC Ministry of Health, Victoria (Colombie-Britannique), 1993.

Vermeer, K., R.W. Butler et K.H. Morgan. « Comparison of seasonal shorebird and waterbird densities within Fraser River delta intertidal regions », dans *The Abundance and Distribution of Estuarine Birds in the Strait of Georgia, British Columbia*, R.W. Butler et R.W. Campbell (éd.), *Service canadien de la faune*, Publication hors-série n° 65, 1994, pp. 6–17.

Vincent, L.A. et É. Mekis. « Changes in daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the twentieth century », *Atmosphere-Ocean*, vol. 44, n° 2, 2006, pp. 177–193.

Volkman, J.M. *A river in common: the Columbia River, the salmon ecosystem, and water policy*, rapport inédit rédigé à l'intention de la Western Water Policy Review Advisory Commission, 1997, 207p., <https://repository.unm.edu/dspace/bitstream/1928/2809/1/COLUMBIA.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Volney, W.J.A. et K.G. Hirsch. « Disturbing forest disturbances », The Forestry Chronicle, vol. 81, 2005, pp. 662–668.

Walker, I.J. et J.V. Barrie. « Geomorphology and sea-level rise on one of Canada's most 'sensitive' coasts: northeast Graham Island, British Columbia », dans *Proceedings of the 8th International Coastal Symposium, Journal of Coastal Research*, Numéro spécial 39, 2006, 7 p.

Walker, I.R. et M. Pellatt. « Climate change in coastal British Columbia — a paleoenvironmental perspective », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 28, 2003, pp. 531–566.

Walker, I.J., J.V. Barrie, A.H. Dolan, Z. Gedalof, G. Manson, D. Smith et S. Wolfe. *Coastal vulnerability to climate change and sea level rise, northeast Graham Island, Haida Gwaii (Queen Charlotte Islands), British Columbia: final technical report*, rapport rédigé pour le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 2007, 249 p.

Wallis, P.M., S.L. Erlandsen, J.L. Isaac-Renton, M.E. Olson, W.J. Robertson et H. van Keulen. « Prevalence of Giardia cysts and Cryptosporidium oocysts and characterization of Giardia spp. isolated from drinking water in Canada », *Applied Environmental Microbiology*, vol. 62, 1996, pp. 2789–2797.

Wang, T.L., A. Hamann, D.L. Spittlehouse et S.N. Aitken. « Development of scale-free climate data for western Canada for use in resource management », *International Journal of Climatology*, vol. 26, n° 3, 2006b, pp. 383–397.

Ware, D.M. et G.A. McFarlane. « Fisheries production domains in the northeast Pacific Ocean », dans Effects of Ocean Variability on Recruitment and an Evaluation of Parameters Used in Stock Assessment Models, R.J. Beamish et G.A. McFarlane (éd.), *Publication spéciale canadienne des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 108, 1989, pp. 359–379.

Ware, D.M. et G.A. McFarlane. « Climate induced changes in hake abundance and pelagic community interactions in the Vancouver Island upwelling system », dans Climate Change and Northern Fish Populations, R.J. Beamish (éd.), *Publication spéciale canadienne des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 121, 1995, pp. 509–521.

Ware, D.M. et R.E. Thomson. « Interannual to multi-decadal timescale climate variations in the northeast Pacific », *Journal of Climate*, vol. 13, 2000, pp. 3209–3220.

Ware, D.M. et R.E. Thomson. « Bottom-up ecosystem trophic dynamics determine fish production in the northeast Pacific », *Science*, vol. 308, n° 5726, 2005, pp. 1280–1284.

Watson, E. et B.H. Luckman. « Tree-ring based reconstructions of precipitation for the southern Canadian Cordillera », *Climatic Change*, vol. 65, 2004, pp. 209–241.

Watson, E. et B.H. Luckman. « Spatial patterns of preinstrumental moisture variability in the southern Canadian Cordillera », *Journal of Climate*, vol. 18, 2005a, pp. 2847–2863.

Welch, D. Geoindicators for monitoring Canada's national parks: a proposal, Parcs Canada, Ecosystem Science Review Report 017, 2002, 39 p.

Welch, D. « What should protected areas managers do in the face of climate change », *George Wright Forum*, vol. 22, 2005, pp. 75–93.

Welch, D.W., Y. Ishida et K. Nagasawa. « Thermal limits and ocean migrations of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka*: long-term consequences of global warming », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 55, 1998, pp. 937–948.

Wenzel R.P. « A new Hantavirus infection in North America, *New England Journal of Medicine*, vol. 330, 1994, pp. 1004–1005.

Westerling, A.L., H.G. Hidalgo, D.R. Cayan et T.W. Swetnam. « Warming and earlier spring increase western U.S. forest wildfire activity », *Science*, vol. 313, n° 5789, 2006, pp. 940–943.

Wheatley, M.A. « Social and cultural impacts of environmental change on aboriginal peoples in Canada », *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 57, supplément n° 1, 1998, pp. 537–542.

Whitfield, P.H. et A.J. Cannon. « Recent variations in climate and hydrology in Canada », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 25, 2000, pp. 19–65.

Whitfield, P.H. et A.J. Cannon. « Forthcoming. changes in climate and hydrology of south central BC 1976–1995 », *Reviews of Fisheries Science*, sous presse.

Whitfield, P.H. et E. Taylor. « Apparent recent changes in hydrology and climate of coastal British Columbia », dans *Mountains to Sea: Human Interaction with the Hydrologic Cycle*, Y. Alila (éd.), compte rendu de la 51e Conférence canadienne sur les ressources hydriques tenue du 10 au 12 juin 1998 à Cambridge (Ontario), 1998, pp. 22–29.

Whitfield, P.H., K. Bodtker et A.J. Cannon. « Recent variations in seasonality of temperature and precipitation in Canada, 1976–1995 », *International Journal of Climatology*, vol. 22, 2002a, pp. 1617–1644.

Whitfield, P.H., A.J. Cannon, J.Y. Wang et C.J. Reynolds. « Modelling streamflows in present and future climates — examples from rainfall/snowmelt streams in coastal British Columbia », *Hydrological Science and Technology*, vol. 19, n° 1–4, 2003, pp. 41–56.

Whitfield, P.H., C.J. Reynolds et A.J. Cannon. « Modelling streamflows in present and future climates — examples from Georgia Basin, British Columbia », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 27, n° 4, 2002b, pp. 427–456.

Whyte, J. « Extreme weather impacts on Provincial Emergency programme (PEP) and public safety », conférence de l'Association canadienne des ressources hydriques, Victoria (Colombie-Britannique), 2006.

Wieczorek G.F. et T. Glade. « Climatic factors influencing occurrence of debris flows », dans *Debris Flow Hazards and Related Phenomena*, M. Jakob et O. Hungr (éd.), Praxis and Springer, Berlin–Heidelberg–New York, 2005, pp. 325–362.

Williams, B. *Pêche du saumon dans le sud, examen de fin de saison 2004 : Première partie :* Rapport sur le saumon rouge du Fraser, Pêches et Océans Canada, 2005, 91 p., <http://www-comm.pac.dfo-mpo.gc.ca/publications/2004psr/default_f.htm>, [consultation : 18 mai 2007].

Willows, N.D. « Determinants of healthy eating in aboriginal peoples in Canada », *Revue canadienne de santé publique*, vol. 96, supplément n° 3, 2005, pp. S32–36.

Wolter, K. et M.S. Timlin. « Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component inde », *dans Proceedings of the 17th Climate Diagnostics Workshop*, Norman, Oklahoma, NOAA/N MC/CAC, National Severe Storms Library, Oklahoma Climate Survey, Cooperative Institute for Mesoscale Meteorological Studies and the School of Meteorology, University of Oklahoma, 1993, pp. 52–57.

Wolter, K. et M.S. Timlin. « Measuring the strength of ENSO — how does 1997/98 rank? », *Weather*, vol. 53, 1998, pp. 315–324.

Woods, A.J., K.D. Coates et A. Hamann. « Is an unprecedented Dothistroma needle blight epidemic related to climate change? », *Bioscience*, vol. 9, 2005, pp. 761–769.

Woodward, A., S. Hales, N. Litidamu, D. Phillips et J. Martin. « Protecting human health in a changing world: the role of social and economic development », *Bulletin of the World Health Organization*, vol. 78, n° 9, 2000, pp. 1148–1155, <http://www.who.int/docstore/bulletin/pdf/2000/issue9/bu0649.pdf>, [consultation : 18 mai 2007].

Wright, C.A., A. Dallimore, R.E. Thomson, R.T. Patterson et D.M. Ware. « Late Holocene paleofish populations in Effingham Inlet, British Columbia, Canada », *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 224, 2005, pp. 367–384.

Wright, H. *Management plan for experimental reintroduction of sockeye into Skaha Lake: proposed implementation, monitoring and evaluation*, rapport inédit rédigé pour la Colville Confederated Tribe par le Okanagan Nation Alliance Fisheries Department, Westbank (Colombie-Britannique), 2004, 17 p.

Wright, I.J., P.B. Reich, J.H.C. Cornelissen, D.S. Falster, P.K. Groom, K. Hikosaka, W. Lee, C.H. Lusk, U. Niinemets, J. Oleksyn, N. Osada, H. Poorter, D.I. Warton et M. Westoby. « Modulation of leaf economic traits and trait relationships by climate », *Global Ecology and Biogeography*, vol. 14, n° 5, 2005, pp. 411.

Yin, Y. *Designing an integrated approach for evaluating adaptation options to reduce climate change vulnerability in the Georgia Basin*, rapport rédigé pour le Programme sur les impacts et l'adaptation aux changements climatiques, Ressources naturelles Canada, 2001, 50 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/80_e.pdf>, [consultation : 24 juillet 2007].

Young, N. *New economic spaces and practices in coastal British Columbia*, thèse de doctorat, Department of Sociology, University of British Columbia, Vancouver (Colombie-Britannique), 2006a.

Young, N. « Distance as a hybrid actor in rural economies », *Journal of Rural Studies*, vol. 22, n° 3, 2006b, pp. 253–266.

Zebarth, B., J. Caprio, K. Broersma, P. Mills et S. Smith. « Effect of climate change on agriculture in the British Columbia and Yukon », dans *Responding to Global Climate Change in British Columbia and Yukon*, Volume 1, *Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*, E. Taylor et B. Taylor (éd.), Environnement Canada et BC Ministry of Environment, Lands and Parks, 1997.

Zektser I.S. et H.A. Loaiciga. « Groundwater fluxes in the global hydrologic cycle: past, present, and future », Journal of *Hydrology*, vol. 144, 1993, pp. 405–427.

Zhang, Q.B. et R.J. Hebda. « Abrupt climate change and variability in the past four millennia of the southern Vancouver Island, Canada », *Geophysical Research Letters*, vol. 32, 2005, doi:10.1029/2005GL022913.

Zhang, X., D.K. Harvey, W.D. Hogg et T.D. Yuzyk. « Trends in Canadian streamflow », *Water Resources Research*, vol. 37, n° 4, 2001a, pp. 987–998.

Zhang, X., W.D. Hogg et É. Mekis. « Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation events over Canada », *Journal of Climate*, vol. 14, 2001b, pp. 1923–1936.

Zhang, X., L.A. Vincent, W.D. Hogg et A. Niitsoo. « Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century », *Atmosphere-Ocean*, vol. 38, n° 3, 2000, pp. 395–429.

CONTEXTE INTERNATIONAL

CHAPITRE 9
Le Canada dans le contexte international

Auteurs principaux :
James P. Bruce[1] et Erik Haites[2]

Collaborateurs :
Aaron Cosbey (*Institut de prévention des sinistres catastrophiques*), John Drexhage (*Institut international du développement durable*), Terry Fenge (*Inuit Circumpolar Conference*), Paul Kovacs (*Institut de prévention des sinistres catastrophiques*) et Gordon A. McBean (*University of Western Ontario*)

Notation bibliographique recommandée :

Bruce, J.P. et E. Haites. « Le Canada dans le contexte international », dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éditeurs), Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, pp. 387-424.

---

[1] Soil and Water Conservation Society, Ottawa, (Ontario)
[2] Margaree Consultants, Toronto, (Ontario)

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 391
1.1 Objectif du chapitre 391
1.2 Tendances et projections internationales du changement climatique 391

2 QUESTIONS D'ORDRE PLANÉTAIRE 394
2.1 Aperçu des impacts et des mesures d'adaptation à l'échelle mondiale – questions d'équité 394
2.2 Catastrophes naturelles, assurance et réassurance, et aide humanitaire 394
2.3 Questions relatives au commerce 396
2.4 Implications du changement climatique en matière de conflits 401
2.5 Implications pour la migration internationale en direction du Canada 401
2.6 Effets sur la santé 402
2.7 Effets sur le tourisme 404

3 OCÉANS 405
3.1 Océan Atlantique et mer du Labrador 406
3.2 Océan Pacifique 407
3.3 Océan Arctique 408

4 EFFETS SUR LES CONTINENTS (Amérique du Nord) 411
4.1 Implications en matière d'eau 411
4.2 Questions liées à l'énergie 413
4.3 Qualité transfrontalière de l'air 415

5 OBLIGATIONS INTERNATIONALES DU CANADA EN MATIÈRE D'ADAPTATION 416
5.1 Besoins en adaptation dans les pays en développement 416
5.2 Actions entreprises jusqu'ici 418

6 SYNTHÈSE 419

RÉFÉRENCES 420

PRINCIPALES CONCLUSIONS

Le changement climatique touche déjà les populations, les économies et les environnements de toutes les régions du monde : hausse des températures, élévation du niveau de la mer, augmentation du nombre d'épisodes de fortes précipitations, intensification des tempêtes et des sécheresses, fonte des glaciers, changements des débits fluviaux, accroissement de l'évaporation, dégradation du pergélisol, réduction de la glace de mer et de lac, et augmentation du nombre des vagues de chaleur. On s'attend à ce que ces impacts, défavorables pour la plupart, se poursuivent et même s'intensifient.

Les impacts du changement climatique et les mesures d'adaptation mises en œuvre dans d'autres pays pour y faire face peuvent toucher le Canada de diverses manières. Au Canada, les effets se feront sentir selon que les impacts surviennent ailleurs en Amérique du Nord, dans les océans qui l'entourent ou à l'échelle mondiale.

QUESTIONS RELATIVES À L'AMÉRIQUE DU NORD

- Les émissions de particules fines et de précurseurs de l'ozone aux États-Unis et au Canada s'accompagnent d'une augmentation des problèmes de santé et de la mortalité dont les conséquences seront fort répandues, aussi bien d'un côté de la frontière que de l'autre. Même si des vagues de chaleur de durée plus longue et plus intenses entraîneront vraisemblablement l'intensification des épisodes de smog, en réduisant davantage ces émissions, le Canada et les États-Unis contribueraient à la réduction des risques sanitaires.
- La baisse des débits dans de nombreux cours d'eau du sud du Canada entraîne des problèmes croissants de partage de la ressource et de qualité de l'eau dans les plans d'eau situés sur la frontière entre le Canada et les États-Unis, y compris les Grands Lacs.
- La croissance de la demande aux fins de climatisation et une baisse probable de l'approvisionnement en hydroélectricité aux États-Unis et dans certaines régions du Canada se traduisent par des modifications du processus d'échange transfrontalier d'énergie électrique.
- Avec l'augmentation projetée des sécheresses dans le sud-ouest des États-Unis et au Mexique, on peut s'attendre à une croissance de la demande d'exportation d'eau.

QUESTIONS RELATIVES AUX OCÉANS ET AUX ZONES CÔTIÈRES

- Le réchauffement de l'Arctique entraînera une diminution de la glace de mer et une augmentation de la navigation et des projets de développement dans les eaux arctiques canadiennes, rendant ainsi plus pressant le besoin de trouver les ressources nécessaires afin d'assurer la poursuite des activités de protection de la sécurité du Canada dans cette région ainsi que de ses intérêts en matière d'environnement, et de la communauté inuite.
- L'élévation du niveau marin, l'augmentation de l'activité cyclonique et la réduction de la couverture de glace augmenteront l'érosion du littoral et obligeront à construire des routes dans d'autres endroits et à modifier les installations portuaires, les systèmes de navigation, les navires et les capacités de recherche et de sauvetage sur les côtes des océans Atlantique, Pacifique et Arctique.
- Les effets sur la répartition des poissons et sur les régimes de pêche de pays étrangers sont encore mal compris, mais ils pourraient s'avérer d'une importance majeure pour les communautés canadiennes vivant de la pêche; il existe donc là une importante lacune sur le plan des connaissances.

QUESTIONS D'ORDRE MONDIAL

Santé

- Des maladies actuellement présentes dans des climats plus chauds menaceront de plus en plus le Canada en raison de la présence accrue de maladies et d'organismes porteurs de maladies dans des pays qui entretiennent des liens de commerce et de tourisme avec le Canada.
- Le transport de matières toxiques et de polluants persistants vers le nord du Canada augmentera à mesure que le réchauffement des lacs eurasiens et nord-américains causera la volatilisation d'un

nombre croissant de substances chimiques, ayant ainsi un effet délétère sur la population du Nord canadien et sur les écosystèmes.

- Il faudra accroître l'aide internationale aux pays en développement pour assurer la salubrité de leur approvisionnement en eau et du traitement des aliments afin de réduire les décès et les maladies liés à la diarrhée et autres troubles.

Déplacements de populations

- Dans nombre de pays, l'élévation du niveau de la mer et l'augmentation des pénuries d'eau et de nourriture obligeront beaucoup de gens à déménager dans leur propre pays ou à l'étranger, entraînant des conséquences sur les politiques et les activités du Canada en matière d'aide, de maintien de la paix et d'immigration.

Augmentation des catastrophes

- On prévoit l'augmentation de la fréquence et de l'ampleur des catastrophes d'ordre météorologique, notamment des sécheresses à l'échelle mondiale, ce qui fera croître les besoins en secours et en aide de la part du Canada, et les pertes pour les Canadiens possédant des entreprises et des biens à l'étranger.

Tourisme au Canada

- À long terme, on devrait noter un accroissement du tourisme de saison chaude au Canada. Les installations de tourisme hivernal devront avoir recours à des mesures d'adaptation importantes pour rester viables.
- On prévoit que les Canadiens voyageront moins vers des destinations chaudes en raison de l'allongement de la saison chaude au Canada.

Commerce canadien

- Une augmentation de la productivité forestière mondiale devrait contribuer à faire baisser les prix des produits du bois canadiens si les effets des incendies et des proliférations d'insectes à l'étranger sont minimisés.
- Les exportations canadiennes de céréales et de maïs pourraient trouver de nouveaux marchés, et les importations de fruits et légumes pourraient diminuer.

Le Canada est non seulement en mesure, mais a l'obligation d'aider les pays en développement à s'adapter au changement climatique. Avec d'autres pays industrialisés, il s'est engagé à réduire ses émissions de gaz à effet de serre, à aider les pays en développement à s'adapter aux effets désavantageux du changement climatique et à contribuer au transfert de technologies et de savoir-faire respectueux de l'environnement. La participation du Canada à des programmes internationaux liés au changement climatique contribue à la compréhension internationale et à l'évaluation des connaissances scientifiques canadiennes. Les connaissances des experts canadiens acquises grâce à cette participation sont également mises à profit dans l'élaboration des politiques et des programmes nationaux.

La compréhension de ces questions d'ordre international contribue à l'élaboration de la politique étrangère du Canada, stimule et protège le commerce international, et protège les ressources, l'environnement et la santé du Canada. Les effets et les exigences, possiblement de grande portée, découlant de cette situation doivent être pris en considération par tous les niveaux de gouvernement et par de nombreuses entreprises. Ces questions n'ont fait l'objet que de peu de recherches dans une perspective canadienne, mais des études menées ailleurs, y compris celles citées dans le présent chapitre, ont d'importantes conséquences pour le Canada.

1 INTRODUCTION

1.1 OBJECTIF DU CHAPITRE

Le climat modifie l'économie et l'environnement de toute la planète. Dans un monde où les voyages et les échanges commerciaux font croître les interactions entre individus et entreprises de pays différents, et avec la migration des espèces et les menaces d'ordre transfrontalier auxquelles font face les écosystèmes, les impacts du changement climatique se jouent des frontières nationales. Pour le Canada, les préoccupations majeures concernent des modifications dans les régimes du commerce, de l'immigration et du tourisme, les effets transfrontaliers sur l'eau, la santé et la pollution de l'air, l'augmentation du stress ressenti à l'étranger au sujet de l'accès aux ressources et le besoin de réponses mondiales à des catastrophes de plus en plus fréquentes et de plus en plus graves. Dans certains cas, les stress entraînés par la mondialisation économique seront aggravés par le changement du climat.

Les pays du Nord circumpolaire constatent déjà de sérieux effets du changement climatique, et les mesures d'adaptation mises en œuvre par une nation auront des incidences sur les autres pays. Les changements des courants et de la répartition des poissons, l'augmentation du nombre de violentes tempêtes hivernales et l'élévation des températures et niveaux de la mer survenant dans les trois océans qui bordent le Canada déclencheront des mesures à l'étranger, qui pourront avoir des répercussions profondes au Canada.

En résumé, les impacts du changement climatique et les mesures d'adaptation prises à l'étranger pourront avoir des effets prononcés sur le Canada. Le présent chapitre constitue une première tentative d'identifier les questions clés pour le Canada dans une perspective internationale, et de discuter des réponses possibles.

1.2 TENDANCES ET PROJECTIONS INTERNATIONALES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Quels changements du climat ont été observés à l'étranger dans les récentes décennies, et à quels changements peut-on s'attendre d'ici 40 ou 50 ans? Une grande partie de l'information présentée ici provient des rapports d'évaluation préparés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et de documents scientifiques publiés depuis 2000.

Température

La température planétaire moyenne a monté d'environ 0,74 °C au cours du dernier siècle, et ce, à un rythme beaucoup plus rapide après 1979 (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). D'une région à l'autre, les valeurs peuvent s'écarter considérablement de cette moyenne, comme le montre la figure 1. D'ici 2050, l'échelle du réchauffement prévu (1,3 °C à 1,7 °C comparativement à la période s'étendant de 1980 à 1999) est peu sensible au choix de scénarios d'émissions (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Là encore, on s'attend à d'importants écarts régionaux par rapport à ces valeurs de température moyennes. Les taux d'évaporation vont généralement augmenter à mesure que monteront les températures de l'air et, en particulier, de l'eau.

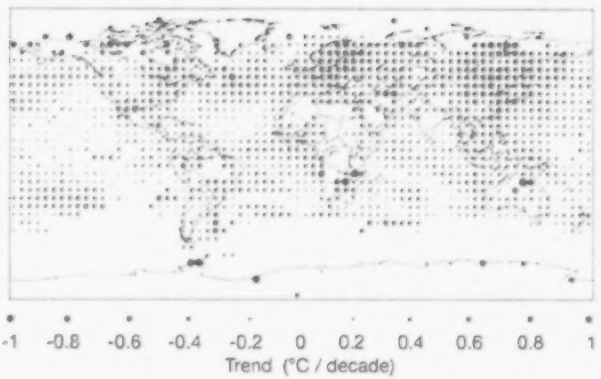


FIGURE 1 : Tendances des températures annuelles (°C/décennie) de 1976 à 2000. La couleur rouge indique une tendance au réchauffement, le bleu, une tendance au refroidissement, et la taille des cercles est proportionnelle à l'ampleur du changement (Folland *et al.*, 2001).

Précipitations

Depuis les années 1960, les précipitations moyennées à l'échelle de la planète sont restées pratiquement stationnaires (Gruber et Levizzani, 2006), bien que d'autres études révèlent une augmentation moyenne d'environ 2 p. 100 dans les régions terrestres (Folland *et al.*, 2001). Les hausses et les baisses des précipitations annuelles au cours des 30 à 40 dernières années présentent des variations régionales (Groisman *et al.*, 2005). Parmi les régions où la pluviométrie accuse des baisses figurent une grande partie du bassin méditerranéen et le nord du Sahara, le sud de l'Afrique et l'Argentine, certaines parties du Moyen-Orient, le nord du Mexique et le sud-ouest des États-Unis. Les prévisions de changements en matière de précipitations réalisées à l'aide de modèles de circulation générale pour les prochaines décennies, même si elles manquent un peu de cohérence, semblent indiquer une continuation des régimes constatés depuis 1970. Pour de nombreux endroits, il peut être plus utile de simplement extrapoler les tendances des récentes décennies. Dans la plupart des régions, les changements observés dans les précipitations fortes à très fortes sont plus significatifs que les changements observés dans les précipitations moyennes (Groisman *et al.*, 2005). La figure 2 présente la répartition à l'échelle planétaire des tendances en matière de précipitations fortes. Les modèles climatiques prévoient une poursuite de l'intensification des épisodes de pluie qui ont été constatés dans de nombreuses parties du monde (p. ex., Alexander *et al.*, 2006).

FIGURE 2 : Régions de changements disproportionnés des précipitations intenses et très intenses. Les seuils servant à déterminer ce qui constitue des précipitations intenses et très intenses varient en fonction de la saison et de la région (*extrait modifié tiré de* Groisman *et al.*, 2005).

Élévation du niveau de la mer et des océans

Le niveau moyen de la mer a monté d'environ 18 cm à l'échelle planétaire au cours du dernier siècle et de 3 mm/a depuis 1992. L'élévation supplémentaire projetée par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2007a) pour la période s'étendant de 2090 à 2099 (comparativement à la période de 1980 à 1999) se situe entre 18 et 59 cm. Cependant, ces résultats ne comprennent pas l'effet total causé par les changements possibles survenant au niveau de l'écoulement ou de la rupture de l'inlandsis du Groenland ou en Antarctique (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Entre 2001 et 2004, la fonte des glaciers a contribué pour environ 1 mm/a à l'élévation du niveau marin, et pour 20 à 30 p. 100 à l'élévation totale survenue entre 1991 et 2004 (Kaser *et al.*, 2006). De nombreuses plaines côtières et de petits États insulaires de faible altitude sont vulnérables à l'élévation du niveau marin – surtout lors de tempêtes.

Des moyennes établies à l'échelle de la planète indiquent que les températures de la surface de la mer ont monté de 0,4 °C depuis 1970 et de 0,6 °C au cours du dernier siècle (Rayner *et al.*, 2003; Pierce *et al.*, 2006). La signature anthropique (gaz à effet de serre) du réchauffement est manifeste dans tous les bassins océaniques : Indien, Pacifique, Atlantique et Arctique (Pierce *et al.*, 2006). Cet état de choses a également contribué à une élévation du niveau de la mer par expansion thermique. On a également constaté une augmentation de l'acidité des couches océaniques superficielles liée à un accroissement de l'absorption de CO_2, augmentation qui risque de faire en sorte que le taux de pH s'en trouve davantage réduit, soit entre 0,14 et 0,35 unités d'ici à 2100 (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

Phénomènes extrêmes

Dans l'hémisphère Nord, les fortes tempêtes hivernales ont augmenté d'intensité dans certaines régions (McCabe *et al.*, 2001) et, selon les prévisions, cette tendance devrait se maintenir (Lambert, 1996; Lambert et Fyfe, 2006). Combinée à l'élévation du niveau marin, cette augmentation se traduira par une intensification des ondes de tempête, de l'érosion des côtes et des inondations dans de nombreuses régions côtières.

Le nombre moyen annuel de tempêtes tropicales (ouragans) n'a pas changé, mais elles sont devenues plus intenses; en effet, on a constaté depuis 1970 une augmentation de la proportion des tempêtes de catégories 4 et 5 (Emmanuel, 2005; Webster *et al.*, 2005). Les modèles révèlent que cette intensification est liée au réchauffement de la surface de la mer et qu'elle va se poursuivre (Knutson et Tuleya, 2004).

Parmi les changements d'autres phénomènes extrêmes évalués par le GIEC (2001a, 2007a) figurent une augmentation de la fréquence des pluies intenses dans de nombreuses régions, des sécheresses plus fréquentes et plus graves dans les régions centrales et méridionales des continents et un accroissement des régions sujettes à la sécheresse (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

Autres tendances et répercussions

- La fonte du **pergélisol** en Amérique du Nord, en Europe et en Asie va se poursuivre, ou même s'accélérer, ce qui aura des incidences sur l'hydrologie, la faune et l'environnement bâti (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001b, Arctic Climate Impact Assessment, 2004).
- La **couverture de neige** au moment de la fonte printanière dans l'hémisphère Nord (mars à avril) continue à rétrécir; de plus, il y a en général plus de fonte pendant les mois d'hiver (Mote *et al.*, 2005). La baisse des débits pendant les saisons sèches d'été et d'automne a un effet, non seulement maintenant mais pour les années à venir, sur la disponibilité de l'eau aux fins d'irrigation et d'autres utilisations.
- La superficie des **zones très sèches** a augmenté à l'échelle planétaire, soit de 12 p. 100 à 30 p. 100 de toute la surface terrestre depuis 1970 (Dai *et al.*, 2004). L'indice Palmer de gravité des sécheresses (*voir* la figure 3) révèle des tendances à l'assèchement dans des régions très répandues, y compris dans une grande partie de l'Afrique. Une sécheresse à la hausse caractérise maintenant plusieurs régions productrices importantes, notamment les grandes plaines d'Amérique du Nord.
- La **hauteur des vagues** a augmenté de 1 cm par décennie (entre 1950 et 2002) dans une grande partie du Pacifique Nord et de l'Atlantique Nord, en Méditerranée et sur la côte est de l'Amérique du Sud (Gulev et Grigorieva, 2004), phénomène dont les effets se sont fait sentir sur la navigation et les plates-formes de forage. Des études récentes ont établi que cette tendance à l'augmentation va se poursuivre (Caires *et al.*, 2006).
- L'**augmentation de la variabilité des pluies de mousson d'été en Asie** est probablement la cause d'épisodes plus graves de sécheresse et d'inondation en Inde et dans le sud-est de l'Asie (Lal *et al.*, 2001). Les pluies de mousson au Mexique et dans le nord des Caraïbes, dans les prairies subsahariennes et dans le sud-est de l'Afrique accusent un déclin depuis 1975 (Chen *et al.*, 2004).
- Une **réduction de la couverture de glace de lac,** des floraisons précoces d'algues printanières, des températures de l'eau de surface plus élevées au printemps et une stratification des lacs se manifestant de deux à quatre semaines plus tôt ont été constatées en Europe et dans d'autres régions tempérées (Mortsch *et al.*, 2003).
- Certains **phénomènes phénologiques** chez des espèces terrestres se produisent maintenant 5 à 14 jours plus tôt dans l'année, ce qui, depuis les années 1950, représente, pour divers végétaux de l'hémisphère Nord, un allongement de la saison de croissance. Selon les mesures satellitaires, la production primaire terrestre

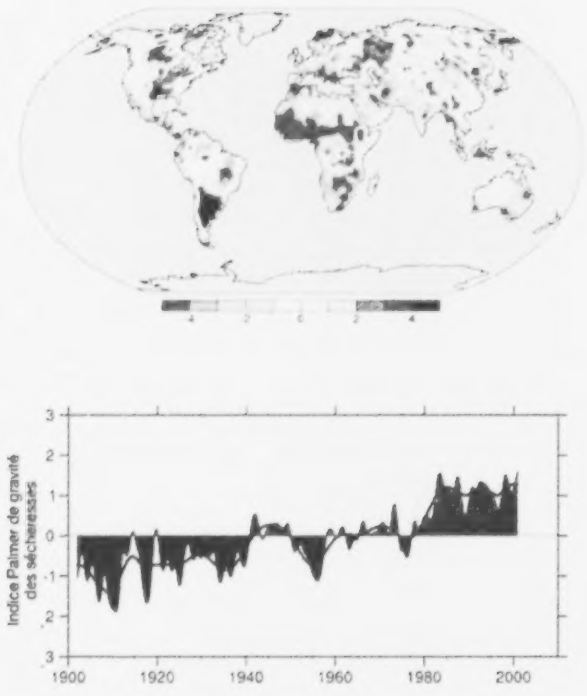


FIGURE 3 : « La variation spatiale la plus importante (en haut) de l'indice Palmer de gravité des sécheresses (Palmer Drought Severity Index, ou PDSI) pour la période de 1900 à 2002. Le PDSI est un des principaux indices de sécheresse; il mesure le déficit cumulatif en humidité à la surface du sol (par rapport aux conditions moyennes locales), en tenant compte des précipitations antérieures et des estimations de l'humidité entraînée dans l'atmosphère (selon les températures de l'atmosphère) pour établir le bilan hydrologique. Le panneau du bas montre à quel point le signe et l'ampleur des variations ont changé depuis 1900. Les zones rouge et orange représentent des régions plus sèches (plus humides) que la moyenne, et les zones en bleu et en vert représentent des régions plus humides (plus sèches) que la moyenne lorsque les valeurs de la courbe inférieure sont positives (négatives). La courbe noire lisse représente les variations décennales. La série chronologique correspond à peu près à une tendance; cette tendance et ses variations représentent 67 p. 100 de la tendance linéaire de l'indice PDSI entre 1900 et 2002 à l'échelle de la planète. Elle met donc en évidence une augmentation généralisée de la sécheresse en Afrique, en particulier au Sahel, par exemple. À noter également les zones plus humides, surtout dans l'est de l'Amérique du Nord et du Sud, et dans le nord de l'Eurasie. » (Trenberth *et al.*, 2007 p. 263, selon Dai *et al.*, 2004 [traduction]).

nette a augmenté de 6 p. 100 à l'échelle planétaire entre 1982 et 1999, surtout aux latitudes tempérées de l'hémisphère Nord (Nemani *et al.*, 2003).

- On a constaté une **augmentation des vagues de chaleur** dans la plupart des régions terrestres. En plus d'avoir des implications considérables sur le plan de la santé et d'être la cause de décès prématurés (comme cela s'est produit en Europe pendant l'été 2003), les vagues de chaleur peuvent aussi entraîner des pertes pour l'agriculture, des changements dans les écosystèmes et au sein de la faune, et une augmentation de la demande d'énergie aux fins de climatisation. Par contre, la poursuite de la tendance actuelle à la diminution du nombre de jours très froids (Alexander *et al.*, 2005) fait baisser les besoins en chauffage et le nombre de blessures et de décès liés au froid.

- **Dans l'Arctique, la superficie couverte chaque année par la glace de mer** a sensiblement diminué, soit de 7,4 p. 100 (Johannessen *et al.*, 2004), au cours des 25 ans qui ont précédé 2002. En septembre 2005, l'étendue de glace de mer dans l'Arctique était la plus petite que l'on ait notée depuis le début des observations satellitaires, en 1979. Ces changements, susceptibles d'ailleurs de se poursuivre, pourraient accélérer l'utilisation des chenaux de navigation et la recherche de ressources pétrolières, gazières et minérales, mais ils pourraient aussi avoir des effets défavorables sur la faune et les activités de chasse des peuples de l'Arctique (*voir* la section 3.3 et le chapitre 3).

- On constate un **recul général des glaciers** dans l'ouest des Amériques, dans les Alpes et dans la plus grande partie de l'Himalaya, situation qui menace des approvisionnements en eau cruciaux pour les pays d'Amérique du Sud (Mark et Seltzer, 2003) et d'autres régions. La perte de glace totale de l'inlandsis du Groenland en 2005 était le double qu'en 1996 (Rignot et Kanagarathan, 2006), ce qui contribue à un adoucissement des eaux du nord de l'Atlantique Nord par contre, le centre de la calotte glaciaire n'a pas connu de changement et s'est peut-être même épaissi grâce à un accroissement de l'apport en neige. L'adoucissement de la branche nord du Gulf Stream pourrait affaiblir la circulation thermohaline (circulation méridionale de retournement), dont le Gulf Stream lui-même. Si cet état de choses se poursuit selon les projections, il entraînera un réchauffement moindre que prévu en Europe et dans le nord-est de l'Amérique du Nord (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a).

À la lumière de ces tendances et répercussions, et compte tenu des capacités d'adaptation, on peut conclure que les régions évaluées comme très vulnérables aux risques liés au changement climatique et à l'élévation du niveau de la mer sont l'Arctique, l'Afrique subsaharienne, les petites îles et les grands deltas d'Asie (Adger *et al.*, 2007). Il faut cependant se rappeler qu'il y a des zones, des collectivités et des secteurs vulnérables dans toutes les régions du monde (Adger *et al.*, 2007).

2 QUESTIONS D'ORDRE PLANÉTAIRE

2.1 APERÇU DES IMPACTS ET DES MESURES D'ADAPTATION À L'ÉCHELLE PLANÉTAIRE – QUESTIONS D'ÉQUITÉ

Équité géographique

Le changement climatique met en jeu un cas classique d'iniquité entre les riches et les pauvres de la planète. Les peuples et les pays qui se sont enrichis grâce à des économies reposant sur l'utilisation de combustibles fossiles infligent aux pays les plus pauvres des changements préjudiciables qui se manifestent sous forme de catastrophes et de menace aux approvisionnements en eau et en nourriture, conséquences d'un climat en évolution. Pourtant, ce sont ces pays les plus pauvres et les plus vulnérables qui contribuent le moins au fardeau mondial des gaz à effet de serre (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 1994; Stern, 2006). La disparité entre les riches et les pauvres due à des facteurs sociaux et économiques sera probablement aggravée par le changement climatique (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001c).

Le changement climatique pourra aussi avoir des conséquences disproportionnées sur les collectivités côtières. En effet, ses répercussions les plus répandues sont entre autres celles dues au réchauffement des océans du globe, qui contribue à l'élévation du niveau de la mer, à une augmentation de l'intensité et de la durée des cyclones tropicaux et à des changements de la répartition des populations de poissons. Parmi les répercussions touchant les zones côtières et les collectivités littorales figurent l'érosion des plages et des traits de côte, la perte de récifs coralliens et une augmentation de la fréquence et de la gravité des inondations de terres basses pendant les tempêtes. Des mesures d'adaptation de grande portée devront être prises, sans quoi 80 millions de personnes de plus seront en danger d'être inondées dans les zones côtières d'ici les années 2080, et le danger ne fera que s'intensifier avec le temps (Parry *et al.*, 2001).

Les incidences sur la santé humaine découlant des changements de la disponibilité et de la qualité de l'eau, de la propagation de maladies tropicales, ainsi que les répercussions sur les systèmes alimentaires et les catastrophes naturelles touchent aussi, et très gravement, les collectivités les plus pauvres, soit celles qui sont le moins en mesure de s'adapter (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001b, 2007b). On décrit ailleurs, dans le présent chapitre, comment l'aide technique du Canada peut appuyer l'adaptation dans les pays moins développés. L'adoption de mesures de développement durable permet de réduire de façon significative les impacts du changement climatique (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007b).

Équité intergénérationnelle

Outre les préoccupations liées à l'iniquité géographique, la question du changement climatique se caractérise aussi par une iniquité dans le temps. En effet, les émissions actuelles auront également des répercussions, pour la plupart défavorables, sur de nombreuses générations à venir. Par exemple, si les concentrations de gaz à effet de serre étaient immédiatement stabilisées aux niveaux de 2006 (379 ppm de CO_2), le niveau de la mer continuerait de monter pendant plus de 500 ans en raison de l'expansion thermique et pendant des millénaires en raison de la fonte des glaces terrestres (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Les mesures d'adaptation concernant les régions côtières exigent donc des stratégies à long terme.

2.2 CATASTROPHES NATURELLES, ASSURANCE ET RÉASSURANCE, ET AIDE HUMANITAIRE

Les phénomènes météorologiques extrêmes peuvent se transformer en catastrophes naturelles lorsqu'ils frappent des collectivités vulnérables qui ne se sont pas préparées à y faire face. La population du Canada peut subir les effets des catastrophes naturelles survenues dans d'autres pays du fait des répercussions indirectes sur la disponibilité et le coût de biens et services, de changements dans les marchés financiers, et de demandes de dons en argent, en vêtements et en nourriture. On en a vu un exemple frappant avec la hausse subite des prix du pétrole et du gaz au Canada après l'ouragan Katrina, en 2005, et son incidence sur la production de pétrole dans le golfe du Mexique (Kovacs, 2005).

Les conséquences possibles des tendances liées au climat, qui vont se poursuivre à mesure qu'il évolue, ont des implications majeures pour l'industrie de l'assurance et sur le plan de la souffrance humaine. Ces tendances révèlent aussi qu'on observera un besoin croissant d'aide humanitaire d'urgence à l'étranger et qu'il faudra reconnaître l'importance d'aider les régions en voie de développement à mettre au point des projets d'atténuation des pertes dues aux catastrophes comme mesure d'adaptation au changement climatique.

Évolution des conditions

La croissance de la population mondiale et l'exposition des infrastructures à des catastrophes d'ordre météorologique s'accompagnent aussi d'une augmentation prévue des pertes économiques. On a cependant des indications que les pertes causées par des phénomènes climatiques ou météorologiques ont augmenté plus rapidement que ne pourrait l'expliquer la seule exposition. Il appert également que la fréquence des événements météorologiques violents responsables de pertes majeures, notamment les tempêtes, les inondations et les sécheresses, a elle aussi augmenté. Sur la planète, le nombre annuel de tempêtes violentes causant des dégâts, qui était en moyenne de 150 au début des années 1980, a atteint les 250 à 300 au

cours de la période de 2000 à 2004 (Mills, 2005). Les pertes totales de biens (à l'exclusion des incidences sur la santé) ont augmenté deux fois plus vite que ne l'aurait laissé penser la croissance de l'économie et de la population mondiales (Mills, 2005). Une fraction significative de la croissance des pertes dues à des catastrophes est donc attribuable au climat en évolution, comme le montre la tendance à la hausse des extrêmes climatiques de diverses sortes (*voir* la section 1.2) et tel que le confirment les projections des modèles du climat (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a, 2007a). Elle s'est aussi produite malgré les tentatives de nombreux pays de réduire ces pertes, par exemple par l'adoption de codes de construction plus stricts, de meilleurs systèmes d'avertissement et de projets de réduction des pertes dues à l'inondation. Il faut cependant constater que l'amélioration des systèmes d'avertissement a permis de faire baisser le nombre de décès au cours des années 1990 par rapport aux années 1970, même si les populations concernées ont connu une augmentation fulgurante (*voir* la figure 4; Organisation météorologique mondiale, 2006).

Pour 1975 et compte tenu des effets de l'inflation, les pertes économiques mondiales imputables à des catastrophes d'ordre météorologique se sont chiffrées à 4 milliards de dollars US; 30 ans plus tard, en 2005, elles dépassaient 200 milliards de dollars US, soit cinquante fois plus (Munich Reinsurance, 2006). Les sommes versées par les compagnies d'assurances pour des dommages aux biens ont également été multipliées par 50 au cours de la même période, passant de 1,6 à 83 milliards de dollars US, montants ajustés pour tenir compte des effets de l'inflation. Bien que l'industrie de l'assurance existe depuis plus de 300 ans, sept des dix catastrophes qui lui ont coûté le plus cher se sont manifestées depuis 2001 (Mills, 2005). Des données provenant du Centre for Research on Epidemiology of Disasters (Centre de recherches sur l'épidémiologie des désastres) révèlent que, pour la période allant de 1996 à 2005, 80 p. 100 de toutes les catastrophes naturelles ont été d'ordre météorologique ou hydrologique; elles indiquent en outre que plus de 1,5 milliard de personnes ont été touchées par de telles catastrophes entre 2000 et 2004 (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture, 2006).

La Fédération internationale des Sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge (2004) a étudié 3 000 catastrophes naturelles survenues un peu partout sur la planète entre 1994 et 2003. Plus de 80 p. 100 d'entre elles découlaient de phénomènes météorologiques à fortes répercussions. Au cours de cette période, on a enregistré 580 000 morts et des pertes économiques de 680 milliards de dollars US, et en moyenne, 250 millions de personnes par année ont été chassées de leur maison. Plus de 95 p. 100 des dommages aux biens se sont produits dans des pays aisés ou à revenu modéré, les pertes les plus importantes ayant lieu aux États-Unis. En contraste, plus de 90 p. 100 des décès dus aux catastrophes sont survenus dans des pays à revenu modéré ou bas, surtout en Asie et en Afrique (Fédération internationale des Sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge, 2004), où vivaient par ailleurs 98 p. 100 des personnes déplacées par ces catastrophes. Les conditions météorologiques à fortes répercussions constituent essentiellement un stress économique dans des pays aisés comme le Canada mais, dans les pays plus pauvres, elles peuvent devenir une menace sensible pour la vie, la santé et la sécurité.

Le nombre moyen de décès par catastrophe est de 23 dans les pays très industrialisés, mais grimpe à plus de 1000 dans les pays moins développés (Organisation météorologique mondiale, 2006). Bien

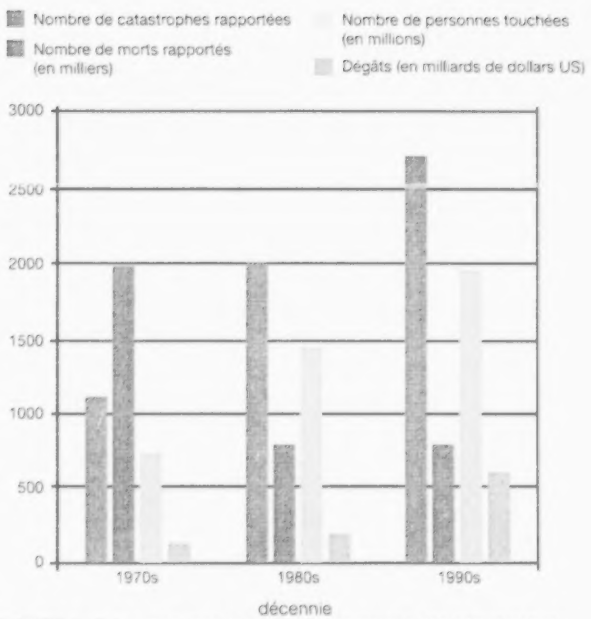


FIGURE 4 : Fréquence mondiale des répercussions des catastrophes naturelles et pertes humaines et économiques connexes entre les années 1970 et 1990 (Organisation météorologique mondiale, 2006).

que les coûts absolus des catastrophes dans les pays très développés soient élevés, ils sont généralement très inférieurs au produit intérieur brut (PIB) des pays en question (Handmer, 2003); par exemple, bien que l'ouragan Katrina ait causé des pertes énormes, celles-ci ne représentent qu'une petite fraction du PIB des États-Unis. En contraste, les pertes causées par l'ouragan Mitch, qui a frappé le Honduras en 1998, ont dépassé 75 p. 100 du PIB de ce pays. En Amérique centrale et dans les Caraïbes, les dégâts causés par les ouragans peuvent retarder le développement économique de ces régions pendant de nombreuses années, car ils exigent que les investissements soient consacrés aux efforts de remise sur pied plutôt qu'à la croissance (International Strategy for Disaster Reduction, 2005a).

Aide internationale

Depuis longtemps, les Canadiens appuient les efforts internationaux de secours en cas de catastrophe, et cette aide a augmenté au cours des dernières années. Récemment, les sinistrés du tsunami dans le sud de l'Asie, de la sécheresse en Afrique et des ouragans qui ont frappé les Caraïbes, l'Amérique centrale et les États-Unis ont reçu un secours considérable de la part d'individus provenant de partout au Canada.

Depuis plusieurs décennies, l'aide internationale et canadienne aux victimes de catastrophes croît avec l'augmentation de l'occurrence des phénomènes extrêmes. Le grand défi est maintenant de voir plus loin que le secours aux sinistrés et de commencer à se concentrer sur le renforcement de la résilience des collectivités, de manière à ce qu'elles puissent mieux faire face aux menaces que présentent les conditions météorologiques à fort impact. La période de reconstruction qui suit une catastrophe naturelle est probablement le moment idéal pour investir dans une

infrastructure et des bâtiments résilients aux catastrophes ainsi que dans de nouveaux emplacements plutôt que de replacer les populations et les infrastructures dans des conditions vulnérables. En outre, il s'agit d'une période favorable aux investissements dans des mesures de nature non structurale visant la réduction des risques associés aux catastrophes, telles que des systèmes améliorés d'avertissement et de préparation en cas d'urgence et des modifications appropriées apportées à l'utilisation des terres. Il s'agit de concepts importants dont il faut tenir compte dans le cadre de l'aide offerte en vue de la réduction des pertes dues aux catastrophes.

Industrie internationale de l'assurance

L'industrie mondiale de l'assurance fournit un mécanisme essentiel pour évaluer et regrouper les menaces aux biens liées aux conditions météorologiques à fort impact.

Ces dernières années, le coût de l'assurance des maisons et des entreprises a augmenté dans les régions où de nouvelles recherches ont démontré que les dommages prévus seront plus élevés que par le passé. On en a eu des preuves en Floride et sur la côte du golfe du Mexique, aux États-Unis. Cependant, sur la plupart des marchés, le coût de l'assurance des biens est resté stable, voire a baissé, comparativement à la valeur des propriétés. Certains épisodes météorologiques violents n'ont pas eu d'incidence sur le coût de l'assurance. Par exemple, la tempête de verglas de 1998, l'événement le plus coûteux pour les assureurs canadiens, n'a pas entraîné de hausse des primes, parce qu'elle a généralement été considérée par l'industrie comme un risque dont la probabilité n'avait pas changé. Qui plus est, plus de 90 p. 100 des facteurs ayant une incidence sur le coût de l'assurance ne sont pas liés aux conditions météorologiques, puisqu'il s'agit de facteurs tels que la fréquence des vols, le nombre d'incendies urbains ou le coût de réparation des véhicules; c'est pourquoi les augmentations des dégâts liés à des phénomènes météorologiques violents n'ont qu'une faible incidence sur le coût global des polices d'assurances tous risques.

Certaines compagnies assurent les compagnies d'assurances; c'est ce qui s'appelle la réassurance. Une grande partie des coûts de réparation des propriétés endommagées par des phénomènes météorologiques violents est assumée par l'industrie de la réassurance, par l'intermédiaire des sommes qu'elle verse aux compagnies d'assurances. Le secteur de la réassurance est toujours en effervescence. Les compagnies d'assurances ont des primes de réassurance plus élevées dans les régions où augmente le risque de phénomènes météorologiques violents, comme les Caraïbes et la côte atlantique des États-Unis. Il s'ensuit que le coût de l'assurance cesse d'être abordable pour nombre de gens moins aisés de ces régions. À ce jour, toutefois, le coût de la réassurance est resté stable pour les compagnies d'assurances au Canada.

Fourniture de biens et de services internationaux

Les phénomènes climatiques extrêmes ont une incidence sur la disponibilité et le coût des biens et des services acquis par les Canadiens. L'effet de l'ouragan Katrina sur le prix et l'approvisionnement en essence a déjà été mentionné (Kovacs, 2005). Par le passé, le mauvais temps a déjà touché la production de certaines cultures, comme celle du caféier ou de l'oranger. L'augmentation de l'activité des ouragans a perturbé les plans de vacances de Canadiens au Mexique, dans les Caraïbes et aux États-Unis. Nombre d'entreprises et de particuliers canadiens possèdent des propriétés menacées, surtout en Floride, dans les États du golfe du Mexique et dans les Caraïbes, et ils ont subi des hausses importantes de leurs primes d'assurance.

Les grandes catastrophes peuvent aussi agir sur les marchés financiers internationaux, ceux-là mêmes qui sont fréquentés par de nombreux Canadiens, mais leur effet s'est plutôt fait sentir sur des secteurs ou des entreprises spécifiques, notamment les secteurs de l'énergie et de l'alimentation, comme dans le cas de l'ouragan Katrina. Ces chocs financiers ont une incidence immédiate sur le marché financier canadien, même si la catastrophe survient dans un pays très éloigné.

2.3 QUESTIONS RELATIVES AU COMMERCE

Le Canada, plus peut-être que tout autre pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), a toutes les raisons de se demander quelle incidence le changement climatique pourrait avoir sur son commerce international, en raison du rôle extrêmement important que ce dernier joue dans son économie nationale. Les exportations et importations canadiennes constituaient 70 p. 100 du produit intérieur brut en 2006, et le commerce y contribuait directement pour 12,8 p. 100 (Affaires extérieures et Commerce international Canada, 2006).

Les répercussions les plus probables du changement climatique sur le commerce international tiennent au fait qu'il peut imposer des altérations majeures à sa base d'avantages comparatifs – un des moteurs clés du commerce. Ces répercussions pourraient se manifester :

- d'abord, en altérant la compétitivité des producteurs canadiens (de manière positive ou négative);
- ensuite, en altérant aussi la compétitivité des entreprises étrangères qui font concurrence aux producteurs canadiens tant sur le marché canadien que sur celui de pays tiers;
- enfin, en menant à l'adoption de politiques qui, à leur tour, auront une incidence sur la compétitivité sur les marchés étrangers.

La troisième situation (répercussions en matière de politiques) n'entre pas dans le cadre de la présente analyse. Les deux premières feront, par contre, l'objet de la discussion qui va suivre, en examinant les conséquences du changement climatique pour certains des secteurs exportateurs clés du Canada : la foresterie, l'agriculture et les pêches. La question de l'énergie est traitée à la section 4.2.

Il n'est pas possible d'établir avec certitude, pour aucun de ces secteurs, quelles incidences le changement climatique aura sur les régimes commerciaux du Canada. Dans bien des cas, il persiste une incertitude quant aux changements régionaux et locaux du climat, et à la dynamique des liens entre ces changements et leurs conséquences biophysiques (p. ex., sur la productivité primaire nette). De plus, certains types d'impacts (comme les phénomènes météorologiques extrêmes) ne peuvent, dans le meilleur des cas, être exprimés qu'en termes de probabilité. Et, alors que la documentation se concentre majoritairement sur les questions liées à l'offre, pour traduire cet état de choses en termes de répercussions sur les prix, il faut auparavant avoir recours à des hypothèses extrêmement conjecturales sur la demande à moyen et à long termes d'exportations canadiennes. Enfin, il demeure une diversité de modèles du

changement climatique, de modèles sectoriels et d'hypothèses en matière d'atténuation et d'adaptation entre lesquels choisir, de façon à ce que l'on dispose de toute une gamme de scénarios plausibles.

Foresterie

La foresterie est un des grands secteurs exportateurs du Canada. Sur la période de cinq ans se terminant en 2005, les exportations de produits forestiers ont représenté plus de 10 p. 100 des exportations totales de marchandises du Canada, atteignant une moyenne de 45 milliards de dollars par an (voir le tableau 1). Dans l'ensemble, le secteur forestier crée plus de 370 000 emplois directs (Ressources naturelles Canada, 2001) et un total estimatif de 555 000 emplois indirects et induits (Ressources naturelles Canada, 2005).

Le plus grand marché d'exportation est de loin celui des États-Unis, qui absorbe environ 85 p. 100 des exportations de produits forestiers du Canada et sur lequel les producteurs canadiens de bois d'œuvre sont en concurrence directe avec leurs homologues américains. Il est suivi par la Chine, le Japon et l'Union européenne. Ce sont les produits de l'industrie des pâtes et papiers qui dominent les exportations, totalisant environ la moitié de la valeur des marchandises (*voir* le tableau 2). Les produits bruts du bois et les semi-produits en bois se partagent à peu près également l'autre moitié. La plus grande partie de la production est centrée soit dans l'est (Québec et Ontario), soit dans l'ouest (Colombie-Britannique et Alberta), la première région contribuant le plus aux exportations de produits transformés et la seconde, aux exportations de produits

TABLEAU 1 : Principaux secteurs exportateurs du Canada (en millions de dollars de 2005; Industrie Canada, 2006).

Secteur	Valeur (en millions de dollars de 2005)					Pourcentage (2005)
	2001	2002	2003	2004	2005	
Produits minéraux	61 560	53 826	64 996	72 373	92 651	21,3
Véhicules, aéronefs, navires et autres équipements de transport	97 394	98 988	90 107	91 199	89 676	20,6
Machinerie: appareils ou équipements mécaniques, électriques et électroniques	56 785	52 601	47 764	51 589	54 286	12,5
Métaux communs et articles de métaux communs	24 946	26 591	24 934	30 690	32 613	7,5
Pâte de bois, papier	27 769	26 471	24 102	24 677	23 707	5,4
Produits des industries chimiques et connexes	16 275	16 890	16 877	20 106	22 881	5,3
Bois et articles de bois	19 127	19 023	17 694	22 003	20 316	4,7
Plastiques, caoutchouc et articles faits avec ces matières	15 628	16 180	15 791	17 088	18 210	4,2
Animaux vivants et produits animaux	11 274	11 830	9 701	9 912	10 522	2,4
Produits maraîchers	10 284	9 013	9 118	10 258	9 480	2,2
Produits alimentaires, boissons, alcools, produits du tabac	8 436	8 912	9 207	9 523	9 176	2,1
Total des exportations	**404 085**	**396 381**	**381 000**	**411 840**	**435 641**	**88,0**

TABLEAU 2 : Exportations canadiennes de produits forestiers, par région Statistique Canada, 2004).

	Valeur en 2004 (en millions de dollars actuels) Pourcentage					
	Québec	Ontario	Alberta	Colombie-Britannique	Autre	Canada
Produits bruts du bois (surtout des billes de résineux)	4 580	3 204	1 902	9 174	2 189	18 860
	24,3 p. 100	17,0 p. 100	10,1 p. 100	48,6 p. 100	10,4 p. 100	
Semi-produits en bois (bois d'œuvre, contreplaqué)	7 246	5 653	1 467	4 954	3 343	19 321
	37,5 p. 100	29,3 p. 100	7,6 p. 100	25,6 p. 100	14,8 p. 100	
Produits de pâtes et papiers (pâte, papier, papier journal)	11 896	8 978	3 399	14 693	5 601	38 966
	30,5 p. 100	23,0 p. 100	8,7 p. 100	37,7 p. 100	12,6 p. 100	

bruts. Les exportations de panneaux de bois augmentent régulièrement depuis dix ans et dépassent maintenant les exportations de papier journal, autrefois au premier rang mais qui, avec celles de pâte de bois, ont baissé au cours de la même période (Ressources naturelles Canada, 2005).

Le changement climatique aura une incidence sur la productivité, la répartition et la composition en espèces des forêts d'Amérique du Nord (Shugart *et al.*, 2003; Lemmen and Warren, 2004). Les études ont tendance à examiner soit les effets sur la productivité forestière (découlant des changements de la température et de l'augmentation de la fertilisation par le CO_2), soit les effets de perturbations telles que les incendies, les ravageurs, les sécheresses et les tempêtes. Il n'existe malheureusement qu'un nombre limité d'études qui intègrent ces deux pistes de recherche.

Les études du premier type ont tendance à conclure que, durant le prochain siècle, on disposera de plus de bois d'œuvre grâce à un accroissement de la productivité découlant elle-même d'un allongement de la saison de croissance, d'une augmentation des précipitations (par endroits) et d'une augmentation de la fertilisation par le CO_2 (Medlyn *et al.*, 2000; Irland *et al.*, 2001; Sigurdsson *et al.*, 2002), bien qu'une incertitude persiste quant à savoir si ce dernier aspect aura plus qu'un effet à court terme. Les effets précis varieront d'une région à l'autre, selon les changements climatiques qui y prendront place, les conditions de départ et le type de forêt. Par exemple, bien qu'une élévation de la température fasse en général croître la productivité, elle peut aussi se traduire par une augmentation des sécheresses dans la tremblaie-parc de l'Ouest et par un dépérissement considérable (Hogg *et al.*, 2002).

Les études portant sur les perturbations des forêts formulent leurs prédictions en termes de superficie perdue. À partir d'une modélisation, Sohngen *et al.* (2001) ont estimé qu'environ 1,6 million d'hectares du dépérissement qui touche chaque année les forêts d'Amérique du Nord est imputable au changement climatique. Un certain nombre d'insectes ravageurs étendent leur aire de répartition à mesure que les hivers se réchauffent (Hogg *et al.*, 2002; Williams et Liebhold, 2002; Carroll *et al.*, 2004). La forêt boréale, où les insectes peuvent faire jusqu'à deux fois plus de dommages que les feux, est particulièrement vulnérable (Volney et Flemming, 2000). Le danger de feu est un autre problème important, puisqu'un certain nombre d'études prédisent pour le Canada une augmentation de la durée et de la gravité des saisons de feux dans les scénarios de changement climatique (Li *et al.*, 2000; Flannigan *et al.*, 2001, 2005; Brown *et al.*, 2004; Gillett et Weaver, 2004). La plupart d'entre elles prévoient un accroissement des risques dans l'ouest du Canada et une baisse due à l'augmentation projetée des précipitations dans les forêts boréales de l'Est. Selon Flannigan *et al.* (2005), on pourrait voir d'ici à 2100 un doublement de la superficie brûlée chaque année au Canada. On prévoit aussi une augmentation de l'activité de la foudre et de la superficie brûlée aux États-Unis.

La Colombie-Britannique et l'Alberta (*voir* le tableau 2) semblent très susceptibles de souffrir des effets de l'augmentation combinée du stress hydrique, du risque d'incendie et de l'activité croissante des ravageurs. D'ailleurs, la prolifération du dendroctone du pin ponderosa en Colombie-Britannique touche déjà le commerce, entraînant une accélération de la coupe de récupération et présageant un rétrécissement de l'offre à moyen terme (*voir* le chapitre 8; Ressources naturelles Canada, 2005). Le dendroctone du pin ponderosa a commencé sa progression vers l'est et, au printemps 2007, infestait déjà quelque 2,8 millions d'arbres en Alberta (Alberta Sustainable Resource Development, 2007). Les deux autres grands producteurs de produits forestiers, soit le Québec et l'Ontario, en particulier dans le domaine des pâtes et papiers, pourraient tirer profit autant de l'augmentation des précipitations que de celle de la productivité dans certaines sous-régions de ces provinces. Cependant, les gains potentiels dans certaines régions de l'Ontario seraient modérés par des pertes dans d'autres parties de la province dues à une baisse de l'humidité du sol et au stress causé par la sécheresse (*voir* le chapitre 6).

Sohngen *et al.* (2001) ont effectué une des rares analyses mondiales à inclure à la fois les effets d'une augmentation de la productivité et ceux liés aux perturbations. D'un côté, cette étude prédit une expansion nette de 3 à 4 p. 100 des forêts canadiennes (et nord-américaines), mais, de l'autre, elle indique que l'Amérique du Nord connaîtra un dépérissement plus prononcé que ses chez concurrents du reste du monde (28 à 29 p. 100 contre 6 à 14 p. 100 respectivement). On prévoit que le résultat économique de l'augmentation de l'offre nord-américaine sera une baisse des prix des produits forestiers et que cette dernière ne serait pas compensée par une augmentation des ventes (Songhen et Sedjo, 2005). De plus, les augmentations de la productivité seront moins prononcées en Amérique du Nord que dans les autres pays producteurs (p. ex., 17 p. 100 contre 32 à 42 p. 100 respectivement; Sohngen *et al.*, 2001). Cette étude semble être la seule à indiquer que l'on assistera à une baisse des prix mondiaux (selon les hypothèses concernant la demande) et à une réduction de la part du marché mondial pour les producteurs canadiens (et nord-américains en général).

En fin de compte, les prix des produits forestiers exportés par le Canada semblent devoir chuter avec l'augmentation de l'offre. Dans l'ouest du Canada, il pourrait s'agir d'un phénomène à plus court terme, attribuable à une accélération de la coupe de récupération (*voir* le chapitre 8). L'augmentation de la productivité chez les concurrents étrangers y contribuera également, surtout en ce qui a trait aux exportations vers des pays autres que les États-Unis. L'accroissement des volumes exportés pourrait ne pas suffire à compenser la baisse des prix.

Agriculture

L'agriculture est un autre grand secteur exportateur au Canada qui représente une moyenne de 5 p. 100 du total des marchandises exportées sur la période de cinq ans se terminant en 2005 et plus de 20,2 milliards de dollars de ventes par année (*voir* le tableau 1). Les producteurs canadiens sont très conscients du fait qu'ils vont être touchés non seulement par un climat en évolution, ici, au Canada, mais aussi par les phénomènes climatiques survenant dans d'autres parties du monde, comme en témoignent ces titres parus dans *The Western Producer* (2006) : « Le blé des États-Unis souffre de la sécheresse » et « La sécheresse en Australie bouleverse le marché des ventes aux enchères » (Duckworth, 2007 [traduction]).

Les céréales et les oléagineux, et leurs produits dérivés, dominent ce secteur au Canada, puisqu'ils représentent environ 40 p. 100 de la valeur des exportations (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2005). Les exportations d'animaux vivants et de viande rouge, surtout à destination des États-Unis, y ont de tous temps occupé une place importante, soit environ 25 p. 100, mais leur contribution est tombée à 20 p. 100 depuis les interdictions déclarées en 2003 par les grands marchés d'exportation en raison de l'encéphalopathie spongiforme

bovine (ESB). En 2004, plus de 60 p. 100 des exportations agricoles du Canada se sont faites en direction des États-Unis, suivis du Japon et de l'Union européenne qui, respectivement, comptent pour 9,4 p. 100 et 6 p. 100 de ces exportations. Le blé est la plus importante culture du Canada, aussi bien par rapport aux superficies emblavées que par rapport à la valeur des exportations; il constitue la plus grosse source agricole de revenus d'exportation, avant totalisé 3,8 milliards de dollars en 2004 (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2004).

Tel que décrit dans les divers chapitres régionaux du présent volume, le secteur agricole du Canada doit s'attendre à ce que le changement climatique ait sur lui des effets tant positifs que négatifs. Parmi les impacts positifs figurent un allongement des saisons de croissance, une augmentation de la productivité liée au réchauffement et à la fertilisation par le CO_2 et, dans certaines régions, une baisse du stress hydrique. Les impacts négatifs, quant à eux, sont entre autres un accroissement du stress hydrique dans de nombreuses régions, une augmentation des pertes dues aux ravageurs, un processus de planification des cultures rendu plus complexe en raison de l'accroissement de la variabilité climatique (des choix inadéquats entraînant des pertes de cultures) et une augmentation des dommages aux cultures attribuables aux phénomènes météorologiques extrêmes (p. ex., vagues de chaleur, grêle, inondations, sécheresses, etc.). Les répercussions définitives sur la disponibilité de l'eau – un problème clé dans des régions arides telles que les grandes plaines (où croît la majeure partie de la production de blé) et les vallées de l'intérieur de la Colombie-Britannique – dépendront des changements dans les régimes de précipitations faibles et des augmentations de l'évapotranspiration sous l'effet du réchauffement.

L'incertitude règne quant aux répercussions nettes sur l'agriculture canadienne (Lemmen et Warren, 2004). De façon générale, on comprend les effets du réchauffement et de l'augmentation des concentrations de CO_2 : ils entraîneront un accroissement de la productivité primaire nette et de la perte d'humidité. Par contre, l'évolution d'autres variables clés est moins claire : disponibilité de l'eau et incidence des mauvaises herbes, des ravageurs et des maladies. Ces incertitudes sont en grande partie attribuables à une modélisation imparfaite du changement climatique aux échelles locale et régionale (p. ex., changements des régimes de précipitations, variabilité et prévisibilité du comportement du climat, incidence des phénomènes météorologiques extrêmes).

Dans le cas des États-Unis, les évaluations faites par Thomson *et al.* (2005a, b, c) leur permettent de parler avec plus de certitude. Des régions comme le Midwest et le sud-ouest des États-Unis, où la disponibilité de l'eau constitue un facteur limitatif, pourraient connaître des problèmes à mesure que cette ressource se fera de plus en plus rare et que sa variabilité interannuelle augmentera de façon significative. C'est ainsi que le potentiel de rendement du blé a subi les effets de la sécheresse de 2005, au cours de laquelle l'Oklahoma et certaines parties du Texas ont connu des déficits de précipitations de plus de 50 cm sous la normale (*The Western Producer*, 2006). La culture sous irrigation de blé d'hiver devrait croître en superficie, tandis que l'on prévoit que celle du soya et du maïs va diminuer. Par contre, ces résultats ne prennent pas en considération une foule de facteurs complexes tels que les effets régionaux ou locaux, les ravageurs et les mauvaises herbes. Le modèle ne tient également pas compte des phénomènes météorologiques extrêmes, comme les inondations qui, selon certains chercheurs, entraîneraient des changements importants dans les résultats obtenus à l'aide de la modélisation (Rosenzweig *et al.*, 2002).

Au niveau mondial, Parry *et al.* (2004) prédisent dans leur étude couvrant quatre grandes cultures et cinq régions que le changement climatique aura probablement une incidence défavorable d'importance légère à modérée sur les rendements, mais cette conclusion suppose l'absence des éventuels effets défavorables causés par les types de stress perturbateurs envisagés plus haut. À l'aide de scénarios faisant intervenir de fortes élévations finales de la température, ils ont constaté que les rendements des céréales baissent beaucoup plus dans les pays en développement que dans les pays développés. Le Canada connaîtrait de faibles accroissements de la productivité, mais la répartition des effets aux échelles locale et régionale n'est pas bien établie.

À l'aide de modèles qui eux aussi font abstraction de nombreux effets défavorables possibles, Rosenzweig et Iglesias (1999) ont constaté que les productions canadiennes de céréales et de cultures protéagineuses pourraient augmenter en moyenne (sur trois modèles) de 15,7 p. 100 et 20,7 p. 100 respectivement à des concentrations atmosphériques de CO_2 de 550 ppm et en ayant recours à certaines mesures d'adaptation, les valeurs correspondantes étant de -4,7 p. 100 et 0 p. 100 aux États-Unis. Les exportations de blé font particulièrement bonne figure dans la plupart des scénarios, la productivité canadienne augmentant, alors que celle de la plupart des autres pays baisse. Selon ces modèles, seule la production de blé de la Nouvelle-Zélande se compare à celle du Canada, mais la Chine et la Communauté des États indépendants connaissent aussi des gains appréciables. L'Amérique latine et le Moyen-Orient se caractérisent par des pertes énormes, et l'Afrique, par des pertes importantes. De plus récentes études prévoient que l'augmentation de la production agricole à des latitudes moyennes à élevées connaîtra une baisse avec une élévation de la température moyenne globale supérieure à 3°C (Group d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007b).

La non-prévisibilité des mesures d'adaptation vient ajouter à la complexité des résultats concernant le secteur agricole. La capacité des pays à s'adapter aura en effet un impact important sur ces résultats; dans de nombreux scénarios, les rendements baissent en Afrique et, en raison de l'insuffisance de la capacité d'adaptation, l'impact pourrait y être bien pire que dans d'autres régions où on prévoit des baisses similaires (Parry *et al.*, 1999).

Au Canada, le climat deviendrait plus propice à la production de fruits et légumes dans plusieurs régions, et ce, peut-être même au point de faire baisser la dépendance à l'égard des importations. L'avantage concurrentiel du Canada dans la production de raisin de cuve pourrait augmenter par rapport aux régions plus chaudes et plus sèches d'Australie et de Californie, par exemple. En fin de compte, pour un certain nombre de cultures, la plupart des modèles prédisent une augmentation de la productivité des agriculteurs canadiens relativement à leurs concurrents étrangers. Cependant, ces modèles n'ont qu'une portée limitée, et c'est probablement l'étude de Lemmen et Warren (2004) qui donne les résultats les plus fiables, concluant sur une note d'incertitude. On ignore encore les répercussions d'un certain nombre d'influences potentiellement défavorables pour bien en comprendre les effets sur la productivité. Les répercussions sur les prix à long terme seront donc de même difficiles à prédire.

En fin de compte, on peut prédire avec un assez bon degré de certitude les grandes lignes des effets du changement climatique à court terme : augmentation de la productivité de l'agriculture canadienne, surtout pour les céréales telles que le blé, par rapport

aux partenaires commerciaux que sont les pays en développement, mais à un moindre degré par rapport aux producteurs des États-Unis. On ne sait cependant toujours pas dans quelle mesure ces tendances générales seront atténuées par des influences perturbatrices, comme les ravageurs et les phénomènes météorologiques extrêmes.

Pêches

Les exportations du secteur des pêches, estimées à 4,3 milliards de dollars en 2005 (Pêches et Océans Canada, 2005), contribuent moins à l'économie du Canada que celles de la foresterie et de l'agriculture, mais elles demeurent importantes et, dans certaines collectivités, représentent une fraction énorme des revenus. Un peu plus de la moitié de la valeur de ce secteur est liée aux exportations de mollusques et crustacés, dominées par le homard, le crabe et la crevette. Le saumon représente une autre fraction de 15 p. 100 de la valeur des exportations, dont les deux tiers sont attribuables au saumon de l'Atlantique.

Le secteur des pêches sera couvert en détail à la section 3 et dans les chapitres régionaux. On sait que les stocks de poissons sont vulnérables au changement climatique. Les pêches sont donc peut-être aussi plus menacées encore que l'agriculture et la foresterie. Ces stocks sont cependant soumis à un grand nombre d'autres influences qui rendent difficile d'isoler les impacts du climat. On parle ici, d'une part, des effets directs liés à la hausse de la température de l'eau et aux modifications de circulations océaniques et, d'autre part, des effets indirects tels que des changements dans les régimes de température et d'apport d'eau douce, des perturbations touchant d'autres maillons de la chaîne alimentaire (p. ex., des changements dans les apports en aliments et en éléments nutritifs), des contributions aux proliférations d'algues toxiques et des effets de la synergie entre le changement climatique et des forces comme la prédation humaine, la pollution et l'appauvrissement de l'ozone.

Bien qu'on ne connaisse toujours pas avec précision quels seront les impacts du changement climatique sur le commerce mondial des produits de la pêche canadiens, on retrouve un bon exemple du potentiel de perturbation dans l'effondrement de la pêche de la morue dans l'Atlantique, soit une espèce qui faisait autrefois l'objet d'exportations majeures. Des indications portent à croire que le changement climatique (jumelé à la surpêche) y a joué un rôle important (Rose, 2004). Par ailleurs, certains craignent que des réductions du couvert nival induites par le changement climatique ne fassent baisser les stocks de saumon du Pacifique (Mote *et al.*, 2003). On mentionne à la section 3 des menaces pour les populations de saumon rouge découlant d'une tendance au réchauffement dans l'est du Pacifique Nord et la possibilité que de telles espèces anadromes modifient leur aire de répartition et se retrouvent hors de portée des pêcheurs canadiens. Les pêches et, en particulier, les pêches pélagiques constituent une question de gestion internationale; la dynamique des impacts entraînés par le changement climatique, comme l'altération de la répartition et de l'abondance des stocks de poissons, rendra encore plus délicat ce défi gestionnel (Miller, 2000; Jurado-Molina et Livingston, 2002; Harley *et al.*, 2006).

Autres considérations

On s'attend à un accroissement du commerce de technologies d'adaptation sans danger pour l'environnement (Klein *et al.*, 2006), comme les techniques de protection contre les catastrophes et d'utilisation réduite de l'eau, et les technologies à faibles émissions de gaz à effet de serre (GES). Pour en tirer profit, il faudrait encourager les entreprises du Canada à concevoir de telles technologies à des fins d'adaptation et d'atténuation. Les répercussions sur le secteur canadien de l'automobile, dont le principal débouché est les États-Unis, pourraient dépendre du rendement énergétique des véhicules qui sont fabriqués ici ou dont des pièces sont fabriquées ici. Bien qu'on puisse craindre d'éventuels différends entre les lois et les ententes commerciales et environnementales, les relevés des conflits possibles (Charnovitz, 2003; Cosbey *et al.*, 2003; Magnusson, 2004) tendent à convenir que, dans l'ensemble, il y a peu de conflits qui ne sauraient être évités grâce à une rédaction soigneuse des mesures environnementales.

Lacunes sur le plan des recherches

Les incertitudes et les lacunes sur le plan des recherches concernant les discussions sur les pêches, l'agriculture et la foresterie sont abordées dans la présente section, mais elles font aussi l'objet d'une analyse ailleurs dans ce volume. Il est à noter que peu d'études à caractère mondial sur la foresterie ont réussi à mettre l'accent à la fois sur la productivité et sur les perturbations telles que les feux et les ravageurs. On remarque des lacunes semblables au sujet de l'agriculture, puisqu'aucune des études mondiales examinées ne tenait compte des impacts des ravageurs ou des phénomènes météorologiques extrêmes.

Pour ce qui est du commerce dans ces secteurs et des répercussions économiques que pourrait avoir le changement climatique sur les intérêts du Canada, il reste encore quelques grandes lacunes à combler sur le plan des recherches. Les rares sorties de modèles d'ordre planétaire n'ont pas fourni d'information spécifiquement pertinente pour le Canada et ont tendance à regrouper le Canada et les États-Unis en une seule entité nord-américaine. Les évaluations des répercussions économiques et commerciales sur le Canada exigeront nécessairement le recours à des modèles plus complexes, de façon à ce que l'on puisse faire la distinction entre le Canada et les États-Unis.

Conclusions

La présente section donne un aperçu des impacts possibles du changement climatique sur les régimes de commerce international du Canada. Bien qu'il semble évident qu'il y aura des effets importants, il faudra effectuer d'autres analyses pour mieux en comprendre la portée. De plus, des études supplémentaires s'imposent pour clarifier la nature de ces répercussions.

Cela dit, on dispose de bonnes indications quant à l'orientation générale du changement. D'un point de vue économique, les répercussions sur le secteur forestier seront probablement très importantes, car la productivité du Canada pourrait baisser par rapport à celle de ses concurrents étrangers et les prix pourraient, eux aussi, baisser en raison d'une augmentation de l'offre mondiale. Les répercussions sur l'agriculture seront elles aussi probablement importantes, la productivité canadienne des cultures céréalières destinées à l'exportation augmentant par rapport aux tendances mondiales (dans une moindre proportion toutefois par rapport aux producteurs des États-Unis). Il convient de noter que toutes les issues prévues reposent sur des hypothèses quant au comportement

d'adaptation (même quand on présume implicitement qu'il n'y en aura pas) et que les mesures d'adaptation appropriées seront cruciales pour faire en sorte que les risques et les possibilités mentionnés plus haut soient adéquatement pris en considération dans le contexte canadien.

2.4 IMPLICATIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN MATIÈRE DE CONFLITS

Le changement climatique peut rendre la vie plus difficile dans les régions touchées, et certaines d'entre elles risquent même de devenir inhabitables. Il pourrait en effet entrainer une hausse des températures, des variations des régimes de précipitations, une désertification, une élévation du niveau de la mer et une augmentation de la fréquence et de la gravité des événements météorologiques extrêmes (Brooks, 2004). Ces impacts peuvent à leur tour menacer la production alimentaire, réduire les approvisionnements en eau douce, entrainer des pertes de terres et d'infrastructures, et accroitre l'incidence des maladies (Barnett et Adger, 2003). Il peut s'ensuivre des mouvements massifs de population; cette migration peut se faire pacifiquement, mais elle peut aussi donner naissance à des conflits.

Les causes d'un grand nombre de conflits sont très difficiles à isoler. On estime que les stress environnementaux en sont rarement la cause principale. Cependant, les stress environnementaux et les disettes qu'ils engendrent peuvent exacerber des conflits politiques, sociaux, économiques, ethniques, religieux ou territoriaux, ou des conflits nés autour des ressources ou des intérêts nationaux (*voir* Gleick, 1990; Lonergan, 1998).

Le nombre de conflits armés en cours dépassait la cinquantaine au début des années 1990, mais il n'était plus que de 30 en 2003 (Human Security Centre, 2005). Cette augmentation ainsi que la baisse qui l'a suivie sont entièrement le produit de guerres civiles, et ces dernières représentent plus de 95 p. 100 de tous les conflits armés. Une des principales raisons de la baisse du nombre de conflits armés est une augmentation spectaculaire des activités internationales destinées à les arrêter et à en éviter de nouveaux (Human Security Centre, 2005). Parmi ces activités figurent des missions de diplomatie préventive, des missions de maintien de la paix, des opérations de maintien de la paix et des sanctions de la part des Nations Unies et d'autres groupes (Ackermann, 2003; Human Security Centre, 2005). Le Canada a très souvent participé à ces efforts.

Les impacts du changement climatique pourraient engendrer de nouveaux conflits ou aggraver des conflits d'origine non climatique, mais cette relation n'est pas claire. Des recherches empiriques confirment que l'appauvrissement de l'environnement cause de grands mouvements de population qui peuvent à leur tour déclencher des conflits (p. ex., Baechler, 1998). Les conflits armés qui en résultent sont généralement persistants, diffus et d'ordre infranational plutôt qu'international (Homer-Dixon, 1991; Baechler, 1998). Le Canada et les autres pays auraient tout intérêt à explorer les meilleures façons d'utiliser les politiques étrangères et les ressources du développement international pour atténuer le risque de conflits de ce genre en tenant compte du fait que le changement climatique pourrait constituer un facteur.

2.5 IMPLICATIONS POUR LA MIGRATION INTERNATIONALE EN DIRECTION DU CANADA

Le Canada a toujours été une destination de prédilection pour les migrants internationaux. L'immigration est régie par la *Loi sur l'immigration et la protection des réfugiés* de 2002 et par ses règlements d'application. La Loi établit une distinction nette entre les objectifs sociaux, culturels et économiques du programme d'immigration et les buts humanitaires du programme de protection des réfugiés. Au cours de la dernière décennie, le Canada a accueilli chaque année entre 175 000 et 250 000 immigrants, dont 22 000 à 33 000 réfugiés. En 2005, 32,0 p. 100 des réfugiés venaient de l'Afrique et du Moyen-Orient, 33,1 p. 100 de l'Asie et des pays du Pacifique, 21,3 p. 100 de l'Amérique du Sud et de l'Amérique centrale, et 11,2 p. 100 de l'Europe (Citoyenneté et Immigration Canada, 2006).

La migration, qu'elle se fasse du milieu rural au milieu urbain, entre régions urbaines dans un même pays ou entre les pays, est déterminée par une combinaison de facteurs de dissuasion liés à la provenance et de facteurs d'incitation liés à la destination (Castles et Miller, 1993). Les impacts négatifs du changement climatique vont continuer d'aggraver la dégradation de l'environnement et contribuer à des déplacements de population internes et externes (Stern, 2006). Des changements graduels, comme une baisse des rendements agricoles ou de l'approvisionnement en eau, déclenchent une migration parce que la région touchée devient moins attirante. Les gens sont alors attirés par des endroits où les possibilités sont meilleures, où vivent des parents et des amis, et où ils estiment qu'il y a tel ou tel avantage (Cragg et Kahn, 1997; Deane et Gutmann, 2003). Par le passé, la migration causée par les impacts du changement climatique s'est effectuée dans une très large mesure à l'intérieur du même pays (Baechler, 1998), et il n'y a aucune raison de croire que cet état de choses va changer. La présence de parents et d'amis au sein de la communauté immigrante pourrait faire du Canada un choix intéressant pour certains migrants étrangers.

Aux termes du droit international, le Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés définit les réfugiés comme des personnes qui fuient leur pays par crainte de persécution d'ordre ethnique, religieux ou politique, ou pour échapper à des conflits, et qui ne peuvent pas compter sur la protection de leur propre gouvernement (Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés, 2006). Il précise qu'une « utilisation exacte du terme « réfugié » implique le besoin d'une protection internationale » (Haut Commissariat des nations Unies pour les réfugiés, 1993, chapitre 1, p. 3 [traduction]). Le nombre total de réfugiés dans le monde était de l'ordre de 14 millions à la fin de 2004, dont environ 4,8 millions de réfugiés palestiniens et 9,2 millions de réfugiés dans d'autres pays qui préoccupent le Haut Commissariat (Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés, 2005)[3]. Le nombre de réfugiés qui préoccupent le Haut Commissariat, qui était d'environ 12,1 millions de personnes à la fin de 2001, a baissé régulièrement depuis (Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés, 2005). En Afrique, il y avait un peu plus de 3 millions de réfugiés, la plupart dans des pays limitrophes de ceux où sévissaient des conflits armés intérieurs.

[3] De plus, il y avait environ dix millions de demandeurs d'asile, de réfugiés rapatriés, de personnes déplacées à l'intérieur de leur propre pays (PDIP), de PDIP rapatriés, d'apatrides et d'autres personnes qui préoccupent le Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés.

El-Hinnawi (1985) a défini le terme « réfugié de l'environnement » comme désignant une personne contrainte à quitter son habitat traditionnel en raison d'une perturbation de l'environnement qui met en péril son existence ou touche gravement sa qualité de vie. Bien qu'utilisé dans la documentation sur le changement climatique, ce terme demeure controversé. Les personnes déplacées à la suite de changements environnementaux ont généralement besoin d'aide et non de protection, et c'est pourquoi elles ne répondent pas à la définition d'un réfugié. Il serait peut-être plus juste de parler de personnes déplacées en raison d'une dégradation de l'environnement.

Le tableau 3 présente une estimation récente du nombre de personnes déplacées en raison d'une dégradation de l'environnement ainsi que des projections qui tiennent compte des impacts du changement climatique. Ces estimations ne sont étayées que par une faible quantité de données empiriques (Black, 2001), mais il est largement admis que le changement environnemental contribue à la migration interne et internationale, et que le nombre de migrants pourrait être élevé. Selon les projections de Myers et Kent (1995), le nombre de « réfugiés de l'environnement » en 2050 atteindrait 150 millions, dont environ 100 millions en provenance de régions côtières basses, 50 millions de zones où l'agriculture est perturbée et 1 million d'États insulaires. Myers (2005) a depuis porté son estimation à un total de 200 millions de personnes. On croit que la plupart des personnes déplacées en raison de changements environnementaux se trouveront en Afrique et en Asie; elles seront géographiquement éloignées du Canada et, par conséquent, moins susceptibles d'y émigrer. Plus près du Canada, la dégradation et la désertification des terres rurales sont d'importantes causes de migration à l'intérieur et en provenance du Mexique (Leighton, 1998).

En rendant les conditions de vie difficiles, voire impossibles, dans une région, les impacts du changement climatique entraîneront des migrations internes et internationales (McLeman et Smit, 2005). Les régions rurales de pays pauvres éloignés du Canada seront probablement les plus touchées. Le risque que des « vagues de réfugiés de l'environnement » déferlent sur le Canada et viennent déstabiliser l'ordre national et les relations internationales est faible (Homer-Dixon, 1991). Toutefois, le changement climatique pourrait amener la communauté internationale à exercer des pressions sur le Canada pour qu'il accepte davantage d'immigrants et de réfugiés.[4]

TABLEAU 3 : Estimation du nombre de « réfugiés de l'environnement » (personnes déplacées en raison d'une dégradation de l'environnement).

Estimation du nombre de réfugiés de l'environnement	Période couverte par l'estimation	Source
Environ 10 millions	Années 1980	Jacobson (1988)
Environ 64 millions	Années 1980	Lonergan (1998)
Environ 15 millions	1990	Westing (1992)
Jusqu'à 25 millions, dont 25 à 33 p. 100 proviennent de sources internationales, le reste étant généré à l'interne : 16 millions pour l'Afrique, 6 millions pour la Chine et 2 millions pour le Mexique.	1990	Myers (1993)
Environ 150 millions	2050	Myers and Kent (1995)
Environ 200 millions	2050	Myers (2005)
8,6 millions de personnes forcées à migrer en raison d'une élévation de 1 m du niveau de la mer		Tol (2002)

2.6 EFFETS SUR LA SANTÉ

Les problèmes de santé qui se posent à l'étranger, notamment les variations de l'abondance et de la virulence des maladies dans des pays avec lesquels le Canada entretient des relations touristiques et commerciales importantes, ont des répercussions au Canada. D'autres questions d'ordre sanitaire, comme celles qui sont attribuables à l'augmentation du nombre et de la gravité des désastres naturels, entraînent une augmentation du nombre de demandes d'aide reçues par le Canada (*voir* la section 2.2).

Dans de nombreuses régions du monde, le paludisme, la dengue hémorragique, la malnutrition et les maladies diarrhéiques sont en croissance, et ce, en raison de plusieurs facteurs, dont le changement climatique. A partir de données compilées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), des chercheurs ont estimé que, jusqu'en 2004, le réchauffement climatique avait contribué chaque année à plus de 150 000 décès et à 5 millions de cas de maladies (Patz *et al.*, 2005). D'après la même étude, ces chiffres devraient doubler d'ici 2030 sous l'effet du changement climatique et d'autres facteurs (p. ex,. répartition de la population, pollution de l'eau). Les plus grandes menaces sont la progression de la malnutrition et du paludisme en Afrique, l'accroissement du nombre de cas de diarrhée en Asie du Sud-Est et la multiplication des catastrophes naturelles en Amérique latine et dans les Caraïbes. Les sections suivantes donnent des précisions au sujet de quelques-uns de ces problèmes. Ce sont les pays les plus pauvres de la planète qui sont les plus vulnérables face à ces répercussions (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007b). Ces tendances vont probablement exercer des pressions sur les programmes d'assistance technique et d'aide humanitaire du Canada.

Maladies

Certaines maladies, telles que le choléra, font suite à des vagues de chaleur, comme celles induites par les épisodes d'El Niño chauds en Amérique centrale et en Amérique du Sud; elles se propageraient probablement davantage dans un monde sujet au réchauffement. Certaines maladies tropicales et subtropicales transmises par les tiques, les insectes et les espèces sauvages constituent une menace croissante pour le Canada dans un climat plus chaud (*voir* les chapitres régionaux dans le présent rapport). Les maladies à transmission vectorielle, dont le paludisme, la dengue et la maladie de Lyme (transmises par des tiques), pourraient étendre leurs aires

[4] La Nouvelle-Zelande a des programmes qui accordent chaque année la résidence à 1 750 personnes provenant de pays des îles du Pacifique (New Zealand Immigration Service, 2005) : Samoa (1 100), Fidji (250), Tonga (250), Tuvalu (75) et Kiribati (75). Malgré que le changement climatique ne soit pas officiellement considéré comme un motif d'immigration, tous ces petits États insulaires sont vulnérables face à l'élévation du niveau de la mer.

de répartition en Amérique du Nord (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001b). Jusqu'à maintenant, on est parvenu à éliminer presque totalement les maladies telles que le paludisme au Canada grâce à des programmes dynamiques de prévention, mais il faudra demeurer vigilant et continuer à offrir de l'aide si l'on veut réduire les impacts à l'étranger.

Les maladies diarrhéiques représentent un autre risque important pour la santé; elles provoquent des milliers de décès prématurés dans les pays pauvres où l'eau et les aliments sont mal traités et mal inspectés, en particulier en Afrique, en Asie du Sud-Est et dans l'est de la Méditerranée (Campbell-Lendrum *et al.*, 2003). On estime qu'à l'échelle mondiale chaque degré Celsius de réchauffement augmente de 5 p. 100 le nombre de cas de diarrhée (Campbell-Lendrum *et al.*, 2003).

Températures extrêmes

L'augmentation de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur aura un effet sur l'incidence des maladies et sur la mortalité liées à la chaleur. Les températures nocturnes élevées, qui ne permettent guère de répit à l'organisme, sont un élément important des vagues de chaleur. Selon une analyse effectuée à l'échelle planétaire, la fréquence annuelle des nuits chaudes a augmenté considérablement entre 1951 et 2003 sur plus de 70 p. 100 de la surface terrestre; la hausse du nombre de nuits chaudes par décennie a été particulièrement marquée dans l'ouest de l'Afrique, en Eurasie, dans le nord de l'Amérique du Sud et dans l'ouest de l'Amérique du Nord (Alexander *et al.*, 2006).

De toute l'histoire de l'Europe, la vague de chaleur d'août 2003 est l'événement climatique qui a eu de loin l'effet le plus considérable sur la mortalité, le nombre de décès supplémentaires étant passé de 27 000 à 40 000 (Kovats et Jendritzky, 2005). Les décès prématurés et les hospitalisations devraient devenir plus fréquents dans bien des régions, quoique l'on s'attende à une réduction du nombre de décès liés au froid intense dans les régions tempérées et subpolaires. Plusieurs villes du monde, dont certaines villes canadiennes, ont mis en place des mesures d'adaptation pour atténuer les effets des vagues de chaleur, notamment des avertissements et des services de préparation en cas d'urgence ainsi que des « toits verts » (végétalisés) sur les grands immeubles, afin de réduire l'effet d'îlot thermique urbain (*voir* les chapitres 5 et 6).

Sécurité alimentaire

Avec l'évolution du climat, les problèmes de santé et la mortalité attribuables à l'intensification de la sécheresse et à la famine augmentent dans certaines régions et diminuent dans d'autres. Malgré la complexité des rapports qui existent entre la productivité des cultures et le climat (Easterling *et al.*, 2007), la plupart des études prévoient une diminution des rendements agricoles aux faibles latitudes, même s'il ne s'agit que d'une très faible augmentation des températures moyennes (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007b). Certaines études soulèvent des préoccupations. Celle de Peng *et al.* (2004), où l'on a eu recours à des expériences contrôlées, a fait état d'une réduction de 10 p. 100 de la production de riz pour chaque hausse d'un degré Celsius des températures nocturnes.

Les répercussions sur la santé du manque d'approvisionnements alimentaires adéquats sont particulièrement inquiétantes en Afrique. La figure 5 montre les tendances de l'Indice de la production alimentaire du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) pour l'ensemble du monde et pour l'Afrique (Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2002). En Afrique, le plongeon de l'Indice a commencé vers 1970, ce qui coïncide grosso modo avec le début du réchauffement rapide de la température à l'échelle planétaire. Cette tendance à la baisse de la production sous l'effet du changement climatique va probablement se poursuivre, entraînant une augmentation de la demande de production alimentaire, et certains pays, dont le Canada, seront appelés à combler le manque à produire. La majorité des gens qui risquent encore davantage de souffrir de la faim à cause du changement climatique vivent en Afrique (Parry *et al.*, 1999).

Inondations

Les inondations côtières et intérieures ont à la fois des effets immédiats sur la santé, causant parfois des blessures et des pertes de vie, et des effets à plus long terme qui découlent de la contamination de l'eau et des aliments. Pour réduire ces impacts, il est donc essentiel d'assurer un approvisionnement en eau propre dès que possible après le désastre.

En raison des effets combinés de l'élévation du niveau marin, de la croissance rapide de la population partout en milieu côtier, de l'augmentation de la violence des tempêtes hivernales et tropicales, et de l'intensité des ondes de tempête, de plus en plus de gens seront exposés à des inondations côtières. Les régions qui seront probablement les plus touchées par ce problème sont les petites îles et

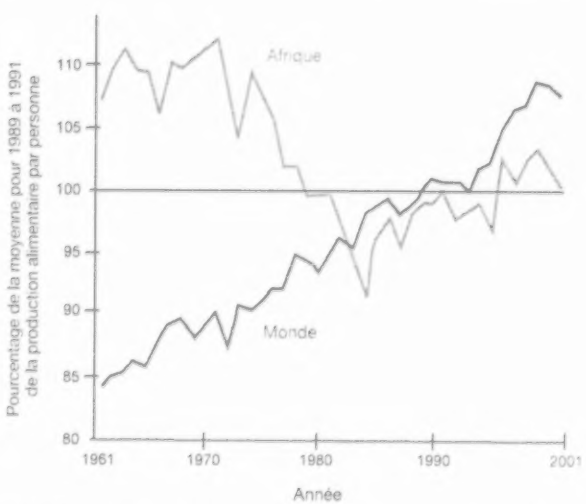


FIGURE 5 : Indice de la production alimentaire (production agricole nette par personne, années de référence 1989 à 1991) pour l'Afrique, comparé au reste du monde, pour la période s'étendant de 1961 à 2001 (Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2002). *Source :* Bases de données statistiques (FAOStats) de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 1995.

les mégadeltas asiatiques, comme ceux du Ganges-Brahmaputra et du Zhujiang (Adger *et al.*, 2007). Les zones côtières basses (ZCB; < 10 m au-dessus du niveau moyen de la mer) abritent environ 10 p. 100 de la population mondiale, alors qu'elles représentent à peine 2,2 p. 100 de la superficie totale des terres (McGranahan *et al.*, 2006). C'est l'Asie qui compte de loin la population la plus nombreuse dans les ZCB, et, dans 19 des 215 pays étudiés par McGranahan *et al.* (2006), plus de 50 p. 100 de la population y habite (*voir* également McGranahan *et al.*, 2007). Toutes proportions gardées, les effets les plus considérables se feront probablement sentir sur les petits États insulaires occupant des basses terres dans les Caraïbes, dans le sud-ouest du Pacifique et dans l'océan Indien.

Le sixième de la population mondiale vit dans des régions sujettes à des inondations attribuables en partie à la fonte de la neige. Dans ces régions, le changement climatique pourrait avoir pour effet de réduire les pointes de crue moyennes (Barnett *et al.*, 2005). Néanmoins, dans les régions sujettes aux cyclones tropicaux (p. ex., l'Amérique centrale, les Caraïbes et le sud-ouest du Pacifique), les augmentations constatées de la gravité et de la durée de ces événements (Webster *et al.*, 2005) entraînent un accroissement du nombre d'inondations et de glissements de terrain. Il a de plus été démontré que les pluies intenses ont augmenté en fréquence et en intensité dans de nombreuses régions du monde, notamment dans l'est des États-Unis et le sud-est du Canada, le nord du Mexique, l'est de l'Amérique du Sud, le sud de l'Afrique, l'Europe, l'Inde et l'est de l'Asie (*voir* la figure 2; Groisman *et al.*, 2005). Ces pluies peuvent causer des crues subites, souvent trop brutales pour qu'on ait le temps d'émettre des avertissements et de protéger les personnes et les biens et, de plus en plus fréquemment, des inondations urbaines imputables à une surcharge des réseaux d'évacuation. Les pluies très intenses, de plus en plus fréquentes sur une grande surface de la planète, entraînent souvent *Escherichia coli* et d'autres matières contaminantes de l'eau potable vers les puits ou les eaux de surface. Aux États-Unis, on estime que 68 p. 100 de toutes les crises sanitaires liées à la contamination de l'eau sont survenues après des épisodes de fortes pluies (Patz, 2001).

Implications possibles pour le Canada

Dans la plupart des cas, il est possible pour le Canada de réduire les répercussions du changement climatique sur la santé et la mortalité à l'étranger en adoptant des mesures d'adaptation aussi bien sur son territoire que sur la scène internationale. Il a déjà commencé à le faire (*voir* la section 5).

Le Canada et d'autres pays développés pourraient contribuer à réduire davantage la vulnérabilité sur le plan de la santé dans d'autres pays par l'intermédiaire de programmes d'aide destinés à :

- renforcer les services de santé publique dans les régions touchées;
- réduire la présence d'eaux stagnantes, où prolifèrent les moustiques porteurs de la dengue et du paludisme;
- améliorer les systèmes de traitement de l'eau;
- améliorer les systèmes d'alerte aux inondations côtières et riveraines, aux vagues de chaleur et à la sécheresse imminente.

Sur son territoire, le Canada pourrait :

- tenir compte, dans ses politiques d'immigration, des personnes déplacées par des problèmes de santé publique et des désastres naturels;
- améliorer les programmes de surveillance de la progression des maladies liées au climat;
- améliorer les contrôles sanitaires aux frontières pour tenir compte des maladies infectieuses sensibles au climat.

2.7 EFFETS SUR LE TOURISME

Le tourisme est, dans le monde, un des secteurs économiques les plus importants et connaissant la croissance la plus rapide. En 2004, il représentait 1,5 à 2,0 p. 100 du PIB du Canada (Commission canadienne du tourisme, 2005; Organisation mondiale du tourisme, 2005; Statistique Canada, 2006). Plus de 19 millions de touristes (visites de plus de 24 heures) sont venus au Canada, dont plus de 15 millions en provenance des États-Unis (Commission canadienne du tourisme, 2005; Organisation mondiale du tourisme, 2005). En outre, il y a eu 19,7 millions de visites d'une journée. Environ 55 p. 100 des visites de touristes étaient consacrées aux loisirs et aux vacances (Organisation mondiale du tourisme, 2005). Les touristes étrangers passaient en moyenne chacun 6,4 nuits au Canada et comptaient pour environ 30 p. 100 dans le total des nuitées dans des établissements d'hébergement (Organisation mondiale du tourisme, 2005). Outre les voyages sur le territoire national, 19,6 millions de Canadiens sont allés à l'étranger, surtout aux États-Unis, pour des séjours de plus de 24 heures. Le tourisme étranger au Canada culmine en été, alors que les Canadiens vont à l'étranger en hiver (Commission canadienne du tourisme, 2005).

Bien qu'il soit évident que le tourisme est lié au climat, la plus grande partie des études portant sur les impacts du climat et du changement climatique sur le tourisme sont postérieures à 2000 (Scott *et al.*, 2005). Hamilton *et al.* (2005) dégagent trois axes principaux de ces ouvrages :

- les études qui établissent des modèles statistiques du comportement de certains groupes de touristes en fonction des conditions météorologiques et du climat;
- les études sur l'avenir de certaines destinations touristiques en fonction d'un climat en évolution;
- les études qui tentent de définir des indicateurs de l'attrait de certaines conditions météorologiques pour les touristes.

Les études de la première catégorie concernent presque exclusivement les choix de vacances de temps chaud des Européens et l'importance des conditions météorologiques et autres agréments dans le choix des destinations fait par les Britanniques, les Hollandais, les Allemands, les Italiens et autres touristes européens (Agnew et Palutikof, 2001; Maddison, 2001; Lise et Tol, 2002). Aucune étude consultée au sujet des destinations privilégiées des touristes canadiens ne fait état des conditions météorologiques ou climatiques comme étant des facteurs ayant joué dans la détermination de ces choix. Cependant, les vacances d'hiver à Hawaii, en Arizona, en Floride, dans les Caraïbes et au Mexique sont de toute évidence motivées par la recherche de conditions plus chaudes.

Au cours des 20 dernières années, de nombreuses études ont porté sur les incidences possibles du changement climatique sur les destinations touristiques au Canada, études axées sur les divers types d'activités au grand air pratiquées par les touristes dans la plus grande partie du pays (Scott *et al.*, 2004; Jones et Scott, 2006). Ces

études révèlent que le ski et autres loisirs d'hiver seront touchés de façon défavorable, malgré l'augmentation de la fabrication de neige artificielle. La longueur et la qualité de la saison touristique d'été devraient s'améliorer dans la plupart des régions, mais il faudra probablement procéder à des ajustements, comme une meilleure gestion de l'eau pour les terrains de golf. Dans certains régions, l'adaptation sera liée à la baisse des débits et des niveaux d'eau pour les activités aquatiques. Les impacts sur le tourisme et l'adaptation de ce secteur sont aussi abordés plus en détail dans les chapitres régionaux.

Bien que ces études fournissent d'importantes perspectives quant aux impacts du changement climatique sur une destination donnée, le flux de touristes dépendra des incidences du changement climatique et des modifications environnementales qui l'accompagnent sur l'attrait de cette destination par rapport à ses concurrentes.

Les études portant sur le troisième axe postulent que le comportement de voyage est régi par deux ensembles de facteurs : un qui motive une personne à envisager de voyager et l'autre qui l'attire vers une destination en particulier (de Freitas *et al.*, 2004; Scott *et al.*, 2004; Amelung et Viner, 2006). Ces analyses se servent de divers indicateurs directs, comme la température et l'humidité, ou indirects, comme la présence de plages, pour évaluer l'attrait de certaines conditions météorologiques pour les touristes.

Un modèle de simulation du tourisme mondial projetant les arrivées et départs pour 207 pays sur la base de la population, du revenu par personne et du climat révèle que la croissance du tourisme est régie par les augmentations de la population et du revenu et qu'elle est donc plus importante en Asie et en Afrique qu'en Europe et en Amérique du Nord (Hamilton *et al.*, 2005). Le tourisme mondial augment de 3,2 p. 100 par an entre 1995 et 2075 dans le cas de référence.

Le changement climatique réoriente le tourisme vers les pôles et des basses terres vers les terres plus hautes. À mesure que les pays plus proches des pôles deviennent plus attrayants pour leurs propres résidants, ils tendent à générer moins de tourisme vers l'étranger (Hamilton *et al.*, 2005). En plus des températures plus élevées, les pays plus proches de l'équateur deviennent moins attirants à cause de la perte de plages et de récifs coralliens, et des dégâts infligés par des tempêtes tropicales plus intenses (Loftus, 2005).

Jusqu'en 2025, le changement climatique devrait profiter davantage au tourisme au Canada que dans tout autre pays (Hamilton *et al.*, 2005). Il ferait croître la part canadienne des arrivées de l'étranger (c.-à-d., plus de touristes venant au Canada) et baisser la part canadienne des départs vers l'étranger (c.-à-d., moins de Canadiens voyageant à l'étranger). Les Canadiens prendraient en effet plus de vacances sur le territoire national, et les déplacements intérieurs croîtraient par rapport aux déplacements internationaux (Hamilton *et al.*, 2005). Les auteurs font cependant une mise en garde : le modèle est très simplifié, avec une représentation rudimentaire du changement climatique, de sorte qu'il faudrait accorder plus d'attention aux résultats qualitatifs. De plus, le modèle laisse de côté un certain nombre de variables fort probablement susceptibles d'avoir un effet sur les flux de touristes (Gössling et Hall, 2006).

En résumé, le tourisme estival au Canada bénéficiera probablement du changement climatique, mais certaines activités pourront devoir s'adapter. Cette situation attirera davantage de touristes étrangers et gardera plus de Canadiens sur le territoire national. Le tourisme d'hiver au Canada pourrait souffrir malgré les mesures d'adaptation. Par contre, avec des hivers plus doux, il se pourrait que moins de Canadiens choisissent des destinations de climat chaud.

3 OCÉANS

Les trois océans (Arctique, Atlantique et Pacifique) qui bordent le Canada exercent de nombreuses influences sur lui, et les impacts du changement climatique qu'ils subissent peuvent à leur tour toucher la population et l'économie canadiennes. Tous les bassins océaniques de la planète ont en moyenne connu un réchauffement dû au forçage des gaz à effet de serre (*voir* la section 1.2), qui devrait se poursuivre. Il en résulte une élévation continue du niveau moyen de la mer et des changements au sein des systèmes biologiques, notamment des modifications dans les aires de répartition des espèces halieutiques et, par conséquent, des pêches, ainsi que le blanchissement des récifs coralliens dans les régions tropicales. On prévoit que l'élévation du niveau de la mer se poursuivra pendant quelques siècles, et ce, même si l'on parvient à stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, en raison de l'intervalle de temps associé au processus d'expansion thermique des eaux marines et de fonte de la glace terrestre. En même temps, l'augmentation de l'activité cyclonique a mené à un accroissement important de la hauteur des vagues dans de nombreuses régions des océans du monde (*voir* la section 1.2). La fonte des glaces terrestres modifie la salinité des eaux marines et contribue aussi à l'élévation de leur niveau, tandis qu'une augmentation de l'absorption de CO_2 en accroît l'acidité.

Les effets sur les systèmes biologiques et sur la répartition des poissons font l'objet d'une attention particulière dans les rapports d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, de sorte que : « La reconnaissance croissante du rôle du système climat-océan dans la gestion des stocks de poissons conduit à formuler de nouvelles stratégies d'adaptation basées sur la détermination des pourcentages acceptables d'élimination et la résilience des stocks. » (McLean *et al.*, 2001, p. 345 [traduction]).

3.1 OCÉAN ATLANTIQUE ET MER DU LABRADOR

Changements dans l'océan

L'atmosphère au-dessus de l'océan Atlantique a connu et continuera de connaître des changements, notamment des accroissements constatés et projetés de l'activité cyclonique et l'augmentation de fréquence des ouragans intenses (*voir* la section 1.2). Le réchauffement, qui sera généralement plus prononcé dans les régions nordiques, aura pour conséquence de réduire la superficie de la mer couverte par la glace. L'accélération de la fonte de l'inlandsis du Groenland et d'autres glaciers terrestres, conjuguée à l'augmentation des précipitations, fera en sorte qu'il y aura un apport plus grand d'eau douce dans l'Atlantique Nord et, donc, une baisse concomitante de la salinité de l'océan (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2001a). Pour la période de 1960 à 2000, l'élévation de la température dans l'Atlantique Nord moyennée sur le volume à des profondeurs de 0 m à 700 m a été de 0,2 °C, mais la température de la surface de la mer dans l'Atlantique Nord ne présente pas vraiment de tendance (Barnett *et al.*, 2001; Pierce *et al.*, 2006).

La circulation méridienne de retournement (CMR), ou circulation thermohaline, perdra de son intensité si les eaux des mers du Groenland, de Norvège et du Labrador deviennent plus chaudes ou plus douces, deux situations qui devraient se produire à cause du changement climatique (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). L'affaiblissement de la CMR entraîne une réduction du transport d'eau de subsurface plus chaude du gyre subtropical vers les latitudes élevées, contrebalançant le processus de réchauffement planétaire. En conséquence, l'Atlantique Nord se réchaufferait moins que d'autres régions de latitudes similaires, et certaines parties pourraient même se refroidir au cours des prochaines décennies, bien que l'on soit encore incertain quant à la répartition géographique du phénomène (Stocker *et al.*, 2001). Bien qu'on s'attende à ce que la CMR ralentisse au cours du présent siècle, il est très peu probable qu'elle s'arrête (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007a). Aucune recherche sur l'adaptation face au changement climatique abrupt qui aurait lieu si la CMR venait à s'arrêter ni sur ses implications quant aux politiques et aux décisions en matière de climat n'a encore été entreprise (Hulme, 2003). Il faut cependant noter que le ralentissement de la CMR ne déclenchera pas un nouvel âge glaciaire (Berger et Loutre, 2002; Weaver et Hillaire-Marcel, 2004).

Le réchauffement s'accompagnera d'une réduction de la couverture de glace de mer sur l'Atlantique Nord, l'exposant ainsi davantage à l'influence de l'atmosphère. L'augmentation de l'activité cyclonique (Lambert, 1996; Lambert et Fyfe, 2005) et, peut-être, du nombre d'ouragans intenses subissant une transition extratropicale, comme l'ouragan Juan (2003), créera des vagues océaniques plus hautes. On dispose maintenant de nombreuses preuves à l'appui d'une augmentation de l'activité cyclonique et de la hauteur des vagues dans l'Atlantique Nord, y compris sur les bancs de Terre-Neuve (Gulev et Hasse, 1999; Gulev et Gregorieva, 2004) et, à mesure que le climat se réchauffera, la plupart des régions océaniques des latitudes moyennes verront un accroissement des hauteurs de vague extrêmes (Wang *et al.*, 2004; Wang et Swail, 2006a, b). À court terme, les icebergs pourraient se faire plus nombreux avec l'accélération de la fonte de l'inlandsis du Groenland et d'autres glaciers terrestres en vêlage.

Ces situations se répercuteront sur les pêches, sur les activités pétrolières et gazières en mer, sur l'exploitation d'autres ressources naturelles des océans et sur l'utilisation de ces derniers aux fins de transport maritime. S'il y a moins de glace de mer, les navires de transport et de pêche circuleront plus facilement, mais l'augmentation des tempêtes et de la hauteur des vagues pourra avoir des effets défavorables sur les flottes et les activités d'exploration énergétique, et contribuera à la hausse du risque d'accidents en mer. L'élévation du niveau marin touchera les zones côtières de l'Atlantique en ayant une incidence sur les habitats des espèces halieutiques et en créant de nouvelles zones inondées par les marées. Les changements du niveau marin pourront aussi nuire à l'utilité des installations portuaires, tant à l'étranger qu'au Canada, ainsi qu'à la compétitivité sur la scène internationale. Il faudra probablement augmenter la capacité de recherche et de sauvetage dans l'Atlantique Nord.

Pêches

La pêche en mer contribue pour beaucoup à l'approvisionnement en nourriture et constitue un élément vital des économies du Canada atlantique (*voir* le chapitre 4) et d'autres pays, surtout les pays de l'Europe limitrophes de l'Atlantique Nord. Les fluctuations passées des pêches dans l'Atlantique Nord, au-delà des zones de pêche traditionnelles du Canada, sont bien documentées. Par exemple, au début des années 1950, le stock de hareng de Norvège à fraye de printemps était le plus gros stock de hareng de la planète, et d'une grande importance pour la Norvège, l'Islande, la Russie et les îles Féroé (Vilhjálmsson *et al.*, 2005). En 1965, à la suite d'un refroidissement brutal et prononcé de l'eau, la plus importante source de nourriture de ces harengs a été décimée. Le stock, qui avait aussi été soumis à une surpêche considérable, s'est effondré. Des restrictions à la pêche et des conditions climatiques favorables ont par la suite contribué à son accroissement, et des ententes internationales ont été conclues pour fixer des quotas. Ces ententes pourront dans l'avenir être un important outil de gestion, à mesure que le changement climatique entraînera des modifications des stocks et des aires de répartition des poissons.

Par ailleurs, la disparition de la morue de l'Atlantique Nord a fait la preuve des coûts sociaux et économiques de l'évolution des stocks de poisson pour le Canada atlantique. Cette disparition était due en partie au refroidissement de l'eau dans la mer du Labrador ainsi qu'à la surpêche, mais les stocks ne se sont pas rétablis autant qu'on le pensait au départ une fois réduite la pression exercée par la pêche (Drinkwater, 2002, 2005; Barange et al., 2003). La relation avec le climat a été examinée par Drinkwater (2002, 2005) et par Barange *et al.* (2003). De façon générale, lorsque les stocks ont diminué, ils sont devenus plus sensibles à la variabilité ou au changement du climat parce que la répartition par âge et l'aire géographique rétrécissaient (Brander, 2005). Le réchauffement de l'eau aura certes des chances de contribuer au rétablissement des stocks de morue du Nord (Drinkwater, 2005), mais il faudra probablement qu'il soit accompagné d'une augmentation de l'abondance de son principal poisson proie, le capelan, et d'une baisse de celle des phoques. La situation de la morue du Nord montre bien comment la pêche, le changement climatique et d'autres facteurs touchant les écosystèmes marins peuvent exercer une forte interaction sur les marges de l'aire de répartition d'une espèce. Un stock faiblement exploité peut ne montrer que peu de grands changements à mesure qu'évoluent le climat et d'autres facteurs; par contre, comme dans le cas de la morue du Nord, cette évolution peut amplifier les effets de la surpêche, entraînant des répercussions brutales sur les paramètres

vitaux que sont les taux de survie et l'abondance, ainsi que la répartition géographique (Rose *et al.*, 2000; Rose, 2004; Drinkwater, 2005).

Étant donné que les poissons sont des ressources internationales, la concurrence qui intervient en pleine mer et pour les espèces chevauchant les frontières internationales a donné lieu à des différends majeurs. La Convention sur le droit de la mer de 1982 comporte des dispositions qui permettent aux États côtiers de fixer des zones économiques exclusives (ZEE) s'étendant jusqu'à 200 milles marins (360 kilomètres), dans lesquelles ils ont des droits souverains sur les ressources naturelles. Les pays sont censés gérer ces stocks dans un souci de durabilité. Avec l'augmentation spectaculaire de la pêche au-delà des ZEE survenue dans les années 1980 et l'augmentation des prises à l'intérieur des ZEE elles-mêmes découlant de la croissance rapide de la capacité de pêche, la Convention des Nations Unies sur les stocks de poissons chevauchants et grands migrateurs de 1995 demande que l'on adopte une approche de précaution dans la gestion des pêches et souligne la nécessité de la coopération entre les pays. La Northwest Atlantic Fisheries Organization et la North East Atlantic Fisheries Commission ont alors été créées, lesquelles ont eu recours à des approches axées sur les écosystèmes en matière de gestion des ressources marines vivantes; c'est-à-dire qu'elles tiennent compte de facteurs naturels comme le changement climatique dans le processus de prise de décisions. Le Sommet mondial sur le développement durable de 2002 indiquait dans son plan de mise en œuvre que ces approches axées sur les écosystèmes en matière de gestion doivent être en place d'ici à 2010.

L'Arctic Climate Impact Assessment (Évaluation de l'impact du changement climatique dans l'Arctique) a fourni une analyse détaillée des pêches de l'Arctique et de l'Atlantique Nord (Vilhjálmsson *et al.*, 2005), et conclu qu'il n'est pas possible, dans l'état actuel des connaissances, de faire des prévisions précises au sujet des changements qui toucheront les stocks de poissons et les pêches ni de leurs effets sur la société à cause des incertitudes qui règnent sur :

- l'identification des causes des changements historiques dans la biologie des poissons;
- la prévision des changements possibles du climat de l'océan dans les scénarios de changement climatique;
- les relations entre les facteurs socioéconomiques et les changements survenus dans les stocks de poissons.

De plus, comme nombre de ces stocks de poissons sont lourdement exploités, ils sont bien moins abondants aujourd'hui qu'ils ne l'étaient auparavant, et ils font preuve de changement extrême quant aux caractéristiques de leurs populations. On peut, cependant, formuler quelques conclusions d'ordre général en ce qui concerne les impacts du changement climatique sur les pêches et sur les économies qui en dépendent dans les pays de l'Atlantique Nord et de l'Arctique. Pour certaines espèces, le réchauffement sera avantageux; pour d'autres, il créera des problèmes. Les changements doivent être examinés dans le contexte d'une économie mondiale ainsi que dans celui de la diversification et de la capacité de s'adapter – politiquement, socialement et économiquement – de cette dernière. Il est important pour les Canadiens de comprendre les répercussions à l'étranger et de prévoir comment les autres pays peuvent réagir, afin de comprendre les impacts qui s'ensuivront pour le Canada. De nouvelles analyses en ce sens s'imposent.

Un autre aspect des effets du changement climatique sur le milieu marin est la modification des risques d'empoisonnement des poissons et des fruits de mer destinés à la consommation humaine et leurs impacts sur les écosystèmes. Le réchauffement de l'eau pourrait entraîner une expansion de l'aire de répartition de certaines toxines vers des latitudes plus élevées et mener à l'apparition plus fréquente de proliférations d'algues toxiques (Berner *et al.*, 2005). Cet état de choses pourrait avoir sur la santé humaine des effets qui devront être pris en considération tant pour la production intérieure que pour l'importation de produits de la mer.

Les changements d'ordre climatique peuvent également avoir un effet sur la compétitivité des systèmes de pêche à l'échelle mondiale. Les conditions qui font baisser l'abondance du poisson dans d'autres régions de l'Atlantique Nord peuvent inciter encore plus les pêcheurs de ces régions à exploiter les eaux canadiennes. Les répercussions sur la pêche commerciale de mollusques et des crustacés pourraient en être les conséquences les plus remarquables.

Réchauffement de l'océan Atlantique et tempêtes tropicales

Les eaux de l'Atlantique tant Nord que Sud se sont réchauffées depuis les années 1950 à partir de la proximité de la surface jusqu'à des profondeurs de plus de 100 m, et cette situation est attribuable en grande partie à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre (Barnett *et al.*, 2001; Pierce *et al.*, 2006). Plusieurs analyses de la fréquence des ouragans intenses et des tempêtes de plus longue durée révèlent une tendance importante à la hausse du nombre de tempêtes de catégories 4 et 5 au cours des 30 à 35 dernières années (Emmanuel, 2005; Webster *et al.*, 2005). Pour certains prévisionnistes des ouragans, cette tendance est uniquement le fait de changements cycliques, mais l'analyse de l'importance relative des tendances du climat et des changements cycliques semble indiquer que les tendances au réchauffement planétaire contribuent pour les deux tiers à l'augmentation du nombre d'ouragans des catégories 3 à 5 (Faust, 2006). C'est pourquoi on peut s'attendre à ce que, dans l'avenir, il y ait en moyenne plus d'ouragans intenses à mesure que l'océan continuera à se réchauffer. Il faudrait donc mettre en place de meilleures mesures de préparation en cas de catastrophes conçues en fonction des ouragans touchant les Caraïbes, les régions côtières des États-Unis et les Maritimes au Canada, et prévoir une augmentation des demandes d'aide aux fins de préparation en cas d'urgence et de remise sur pied après sinistres (*voir* la section 2.2).

3.2 OCÉAN PACIFIQUE

Évolution des conditions

Le réchauffement moyen au large de la Colombie-Britannique a été minime entre 1901 et 1979, mais il s'est manifesté rapidement, jusqu'à 0,25 °C par décennie, entre 1979 et 2004; durant cette période, une grande partie du réchauffement est survenue en juin, juillet et août (données du National Climate Data Center; Smith et Reynolds, 2005). Les tendances observées dans le Pacifique Nord sont en partie liées à l'oscillation décennale du Pacifique (Pacific Decadal Oscillation, ou PDO), qui est elle-même liée à l'effet d'El Niño-oscillation australe (El Niño-Southern Oscillation, ou ENSO). Ces deux phénomènes de circulation se traduisent par une alternance de périodes chaudes (de 1935 à 1945 et de 1975 à 2004)

accompagnées d'un creusement de la dépression des Aléoutiennes et d'une période froide (de 1945 à 1975) dans l'est du Pacifique Nord. Ces grandes fluctuations et des tendances à plus long terme au réchauffement semblent être simultanément en action, se renforçant mutuellement pendant les phases chaudes. Selon certains océanographes et météorologistes, le changement climatique d'origine anthropique stimule la phase chaude du PDO et de l'ENSO (Corti *et al.*, 1999; Timmerman *et al.*, 1999).

En même temps que l'augmentation de la fréquence des tempêtes hivernales intenses dans certaines parties de l'hémisphère Nord (McCabe *et al.*, 2001), on a constaté des changements importants dans la hauteur des vagues. Entre 1950 et 2002, elles ont augmenté d'environ 1 cm par décennie au large de la Colombie-Britannique (Gulev et Grigorieva, 2004). Les projections indiquent que ces augmentations devraient se poursuivre (Caires *et al.*, 2006).

L'élévation du niveau de la mer et l'augmentation des tempêtes intenses entraînent des épisodes d'inondation et d'érosion accompagnés de problèmes de qualité de l'eau, sur la côte Ouest et, surtout, dans les basses terres continentales (*voir* le chapitre 8).

Pêches

Le réchauffement continu des eaux dans l'est du Pacifique Nord fait en sorte que l'aire de répartition des populations de saumon rouge s'en trouve réduite et que ces dernières sont refoulées de plus en plus vers la mer de Béring (Welch *et al.*, 1998; Beamish *et al.*, 1999). La figure 6 montre les limites thermiques actuelles du saumon rouge en décembre (panneau du haut) et en juillet (panneau du bas). Les projections du climat dans un scénario de doublement du CO_2 montrent que cette limite thermique reculerait jusqu'à la mer de Béring (Welch *et al.*, 1998), hors d'atteinte de la plupart des pêcheurs canadiens. Même si on ne prévoit que de faibles changements des effectifs totaux, les régions d'occurrence étant changées, une espèce donnée sera capturée par les pêcheurs d'autres pays. Pour les poissons anadromes, le réchauffement de l'eau dans les cours d'eau de fraye pourra aussi entraîner des modifications des populations et des aires de répartition de certains stocks de poissons (*voir* le chapitre 8).

L'aquaculture dans les eaux côtières pourrait bénéficier de conditions plus chaudes qui feraient augmenter les taux de croissance et permettraient de pratiquer cette activité sur une région plus vaste. L'élévation de la température de l'eau et les changements physiques qui en découlent pourraient cependant être propices à une augmentation de la fréquence et de l'intensité des flambées de maladies et des proliférations d'algues (Kent et Poppe, 1998). La contamination bactérienne des huîtres et autres mollusques et crustacés pourrait aussi devenir plus courante avec le réchauffement de l'eau. L'augmentation de la fréquence des tempêtes hivernales intenses et la tendance au renforcement de la hauteur des vagues mettraient de plus en péril les installations d'aquaculture.

Le changement des conditions climatiques touchera les pêcheurs de plusieurs manières. Ceux-ci pourraient en effet devoir s'éloigner davantage de leur port d'attache pour prendre leur quota d'une espèce donnée, s'exposant ainsi à des risques plus grands à cause des tempêtes d'hiver intenses et plus fréquentes, et des vagues plus hautes au large de la côte Ouest. Outre ces considérations de sécurité, l'évolution des populations de poissons pourrait les obliger à s'adapter en faisant en sorte qu'ils doivent pêcher de nouvelles espèces à d'autres endroits (*voir* le chapitre 8; Beamish *et al.*, 1999; *voir* le chapitre 8).

Tourisme

Le tourisme dans les eaux de la côte Ouest subira des conséquences semblables. En général, avec les petits bateaux de plaisance, il faudra être plus soucieux de la sécurité, les vagues étant plus hautes et les tempêtes violentes plus fréquentes. L'élévation du niveau marin et les violentes tempêtes auront aussi des effets défavorables sur les marinas et autres infrastructures côtières utilisées par les pêcheurs et les plaisanciers, et dont le maintien pourra exiger le recours à des mesures d'adaptation coûteuses (*voir* le chapitre 8).

Transport maritime

On pourra observer une modification des routes maritimes préférentielles dans le Pacifique avec l'évolution de la circulation et des vents, et pour éviter les tempêtes violentes; mais c'est probablement dans les ports et les infrastructures littorales que se manifestera le principal impact sur le transport maritime. Il a été estimé qu'avec une élévation du niveau de la mer de un mètre, le maintien des fonctions et de la stabilité actuelles des 1 000 ports du Japon exigerait des dépenses de 110 milliards de dollars U.S. (McLean *et al.*, 2001). En Colombie-Britannique, il faudra planifier de renforcer et de surélever les brise-lames et les quais pour les adapter à des niveaux d'eau plus élevés et à des vagues plus hautes si l'on veut que les ports du Canada restent compétitifs sur la scène internationale (*voir* le chapitre 8).

3.3 OCÉAN ARCTIQUE

Transport maritime

À l'heure actuelle, il n'y a que peu de transport maritime international dans l'Arctique canadien. Les ports et les installations de débarquement y sont rudimentaires, à l'exception du port de Churchill (Manitoba), dans la baie d'Hudson, qui a quatre postes d'amarrage en eau profonde pour les navires céréaliers, les cargos et les pétroliers. En 2002, le Manitoba et la province russe de Mourmansk – la porte d'entrée du passage du Nord-Ouest pour

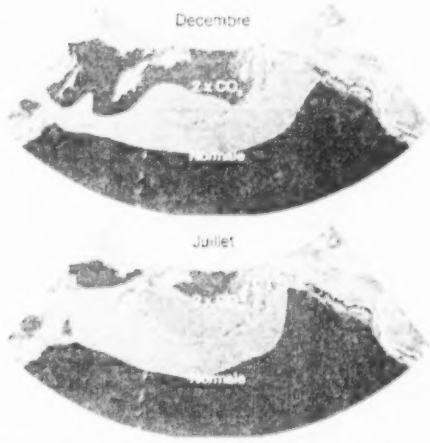


FIGURE 6 : Répartitions actuelle et prévue (dans un scénario de doublement de la concentration de CO_2) des limites thermiques qui contrôlent la répartition du saumon rouge dans le nord de l'océan Pacifique durant les mois de décembre et juillet (Ressources naturelles Canada, 2000).

accompagnées d'un creusement de la dépression des Aléoutiennes et d'une période froide (de 1945 à 1975) dans l'est du Pacifique Nord. Ces grandes fluctuations et des tendances à plus long terme au réchauffement semblent être simultanément en action, se renforçant mutuellement pendant les phases chaudes. Selon certains océanographes et météorologistes, le changement climatique d'origine anthropique stimule la phase chaude du PDO et de l'ENSO (Corti *et al.*, 1999; Timmerman *et al.*, 1999).

En même temps que l'augmentation de la fréquence des tempêtes hivernales intenses dans certaines parties de l'hémisphère Nord (McCabe *et al.*, 2001), on a constaté des changements importants dans la hauteur des vagues. Entre 1950 et 2002, elles ont augmenté d'environ 1 cm par décennie au large de la Colombie-Britannique (Gulev et Grigorieva, 2004). Les projections indiquent que ces augmentations devraient se poursuivre (Caires *et al.*, 2006).

L'élévation du niveau de la mer et l'augmentation des tempêtes intenses entraînent des épisodes d'inondation et d'érosion accompagnés de problèmes de qualité de l'eau, sur la côte Ouest et, surtout, dans les basses-terres continentales (*voir* le chapitre 8).

Pêches

Le réchauffement continu des eaux dans l'est du Pacifique Nord fait en sorte que l'aire de répartition des populations de saumon rouge s'en trouve réduite et que ces dernières sont refoulées de plus en plus vers la mer de Béring (Welch *et al.*, 1998; Beamish *et al.*, 1999). La figure 6 montre les limites thermiques actuelles du saumon rouge en décembre (panneau du haut) et en juillet (panneau du bas). Les projections du climat dans un scénario de doublement du CO_2 montrent que cette limite thermique reculerait jusqu'à la mer de Béring (Welch *et al.*, 1998), hors d'atteinte de la plupart des pêcheurs canadiens. Même si on ne prévoit que de faibles changements des effectifs totaux, les régions d'occurrence étant changées, une espèce donnée sera capturée par les pêcheurs d'autres pays. Pour les poissons anadromes, le réchauffement de l'eau dans les cours d'eau de fraye pourra aussi entraîner des modifications des populations et des aires de répartition de certains stocks de poissons (*voir* le chapitre 8).

L'aquaculture dans les eaux côtières pourrait bénéficier de conditions plus chaudes qui feraient augmenter les taux de croissance et permettraient de pratiquer cette activité sur une région plus vaste. L'élévation de la température de l'eau et les changements physiques qui en découlent pourraient cependant être propices à une augmentation de la fréquence et de l'intensité des flambées de maladies et des proliférations d'algues (Kent et Poppe, 1998). La contamination bactérienne des huîtres et autres mollusques et crustacés pourrait aussi devenir plus courante avec le réchauffement de l'eau. L'augmentation de la fréquence des tempêtes hivernales intenses et la tendance au renforcement de la hauteur des vagues mettraient de plus en péril les installations d'aquaculture.

Le changement des conditions climatiques touchera les pêcheurs de plusieurs manières. Ceux-ci pourraient en effet devoir s'éloigner davantage de leur port d'attache pour prendre leur quota d'une espèce donnée, s'exposant ainsi à des risques plus grands à cause des tempêtes d'hiver intenses et plus fréquentes, et des vagues plus hautes au large de la côte Ouest. Outre ces considérations de sécurité, l'évolution des populations de poissons pourrait les obliger à s'adapter en faisant en sorte qu'ils doivent pêcher de nouvelles espèces à d'autres endroits (*voir* le chapitre 8; Beamish *et al.*, 1999; *voir* le chapitre 8).

Tourisme

Le tourisme dans les eaux de la côte Ouest subira des conséquences semblables. En général, avec les petits bateaux de plaisance, il faudra être plus soucieux de la sécurité, les vagues étant plus hautes et les tempêtes violentes plus fréquentes. L'élévation du niveau marin et les violentes tempêtes auront aussi des effets défavorables sur les marinas et autres infrastructures côtières utilisées par les pêcheurs et les plaisanciers, et dont le maintien pourra exiger le recours à des mesures d'adaptation coûteuses (*voir* le chapitre 8).

Transport maritime

On pourra observer une modification des routes maritimes préférentielles dans le Pacifique avec l'évolution de la circulation et des vents, et pour éviter les tempêtes violentes; mais c'est probablement dans les ports et les infrastructures littorales que se manifestera le principal impact sur le transport maritime. Il a été estimé qu'avec une élévation du niveau de la mer de un mètre, le maintien des fonctions et de la stabilité actuelles des 1 000 ports du Japon exigerait des dépenses de 110 milliards de dollars US (McLean *et al.*, 2001). En Colombie-Britannique, il faudra planifier de renforcer et de surélever les brise-lames et les quais pour les adapter à des niveaux d'eau plus élevés et à des vagues plus hautes si l'on veut que les ports du Canada restent compétitifs sur la scène internationale (*voir* le chapitre 8).

3.3 OCÉAN ARCTIQUE

Transport maritime

À l'heure actuelle, il n'y a que peu de transport maritime international dans l'Arctique canadien. Les ports et les installations de débarquement y sont rudimentaires, à l'exception du port de Churchill (Manitoba), dans la baie d'Hudson, qui a quatre postes d'amarrage en eau profonde pour les navires céréaliers, les cargos et les pétroliers. En 2002, le Manitoba et la province russe de Mourmansk – la porte d'entrée du passage du Nord-Ouest pour

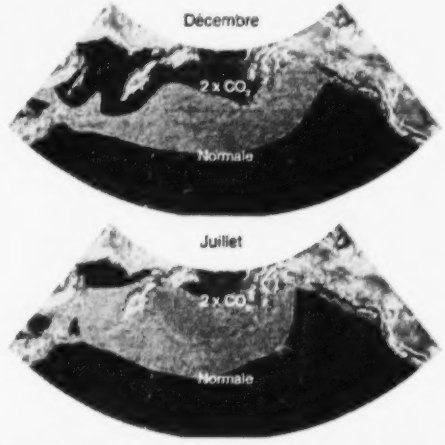


FIGURE 6 : Répartitions actuelle et prévue (dans un scénario de doublement de la concentration de CO_2) des limites thermiques qui contrôlent la répartition du saumon rouge dans le nord de l'océan Pacifique durant les mois de décembre et juillet (Ressources naturelles Canada, 2000).

l'Europe – ont signé une lettre d'intention dans le but de mettre en place une liaison maritime entre les deux provinces, connue sous le nom de « pont de l'Arctique ». Il s'agit de poursuivre la mise en valeur du port de Churchill en tant qu'élément d'un éventuel corridor commercial nord-américain. Le concept est en effet jugé viable étant donné l'allongement de la saison sans glace de mer dans la baie d'Hudson et le détroit de Davis. On a fait remarquer que la construction d'installations portuaires à Iqaluit pourrait contribuer aux efforts de croissance économique régionale (Aarluk Consulting Inc. *et al.*, 2005). La durée de la couverture de glace dans l'archipel arctique devrait être plus courte d'un mois d'ici à 2050 et de deux mois d'ici à 2090 (Dumas *et al.*, 2006). Cependant, la glace continuerait toujours de constituer un danger important pour la navigation (*voir* le chapitre 3).

Les mines de métaux communs, notamment la mine de plomb et de zinc Polaris, sur la petite île Cornwallis, et la mine de zinc Nanisivik, dans le nord de l'île de Baffin, étaient desservies par bateau et le concentré, expédié en Europe et ailleurs par voie maritime lui aussi. Cependant, ces mines ont respectivement mis fin à leurs activités en 2002 et 2003, ce qui ne laisse que la mine de nickel et de cuivre de Raglan, dans le nord du Québec, et la perspective d'une énorme mine de nickel à Voisey's Bay, au Labrador, à desservir par la mer. L'industrie minière espère mettre en service des installations portuaires et routières à proximité de la baie de Bathurst, ou sur la baie elle-même, pour desservir et approvisionner les activités d'exploration et d'exploitation des diamants et des métaux précieux et communs qui ont lieu dans la région de Kitikmeot et le nord des Territoires-du-Nord-Ouest (voir le chapitre 3).

Il semble également probable que la partie canadienne de l'océan Arctique sera beaucoup plus utilisée par des intérêts étrangers. *L'Arctic Climate Impact Assessmente* conclut en substance que :

> *« La poursuite du rétrécissement de la glace de mer va très probablement faire allonger la saison de navigation et améliorer l'accès par la mer aux ressources naturelles de l'Arctique. »* (Arctic Climate Impact Assessment, 2004, p. 11 [traduction])

De plus, cette même évaluation semble indiquer que la traversée de l'océan Arctique en bateau pendant l'été sera réalisable d'ici quelques dizaines d'années. La réduction de la glace de mer en été dans l'Arctique canadien pourrait inciter la communauté mondiale de la navigation à utiliser plus fréquemment le passage du Nord-Ouest (voir la figure 7) aux fins de transport international de marchandises, puisqu'il offre une route plus courte de l'Asie de l'Est vers la côte Est de l'Amérique du Nord et de la côte Ouest de l'Amérique du Nord vers l'Europe de l'Ouest. La plupart des modèles climatiques semblent indiquer que ces changements auront lieu dans la seconde moitié du présent siècle (Walsh *et al.*, 2005), peut-être plus tôt selon des données récentes. Cependant, les mers bordières situées au nord de la Fédération de Russie seront probablement ouvertes en premier, et l'infrastructure appuyant le trafic maritime sur cette route y sera probablement mise en service plus tôt que dans les eaux canadiennes.

Pour donner suite à cette évaluation, les ministres du Conseil de l'Arctique ont lancé en 2004 une étude intitulée *Arctic Marine Shipping Assessment* (Évaluation de la navigation maritime dans l'Arctique). Cette dernière, qui doit être présentée aux ministres en 2008, fournira un état de la navigation dans l'Arctique en 2004 et des projections du niveau probable de la navigation dans l'Arctique circumpolaire en 2020 et en 2050, à la lumière de scénarios de réduction de la glace de mer, de développement économique et de

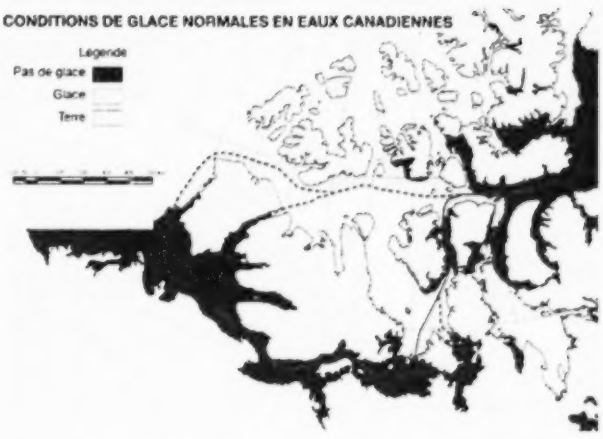


FIGURE 7 : tinéraires principal (ligne pleine) et secondaire (ligne tiretée) dans le passage du Nord-Ouest, illustrés sur une carte des conditions glacielles moyennes au 3 septembre, entre 1971 à 2000 (gracieuseté de Humfrey Melling, Pêches et Océans Canada et Environnement Canada).

risques, tels que la possibilité que le danger posé par la glace augmente dans certaines régions.

Pêches et chaîne alimentaire

La répartition des poissons et des mammifères marins de l'Arctique est régie par la température de l'eau et la couverture de glace, ainsi que par les changements de l'apport en eau douce des grands fleuves de Russie et du Canada (Arctic Monitoring and Assessment Program, 2002). Sur la côte de l'Amérique du Nord, des stocks importants de poissons, comme ceux du hareng et de la morue de l'Atlantique, sont déplacés par le réchauffement de l'eau et remontent vers le nord-est, où ils seront plus accessibles aux pêcheurs de Scandinavie et de Russie. La perte de glace dans les estuaires pourrait déplacer le cisco. Cette perte de glace rend les mers bordières de la plate-forme de l'Arctique plus semblables à des mers tempérées, mais les conséquences de ce phénomène pour les structures des réseaux trophiques sont difficiles à prédire. Un signe avant-coureur surprenant a été une prolifération de méduses dans la mer de Béring dans les années 1990 (Arctic Monitoring and Assessment Program, 2002).

Au moment de la mise bas, les phoques annelés, qui sont une des sources de nourriture favorites de l'ours blanc, ont besoin d'une vaste couverture de glace de mer. Un rétrécissement de l'habitat adéquat pourrait avoir des conséquences pour toute la chaîne alimentaire, puisque les phoques se nourrissent de morue polaire. Pour les Canadiens de l'Arctique, la capture de poissons ou de phoques à des fins alimentaires exige des voyages plus longs dans les mers de l'Arctique, qui sont de plus en plus dangereuses à cause de la tendance à l'intensification des tempêtes d'hiver (*voir* la section 1.2). Pour certaines collectivités de l'Arctique, cette situation implique des changements importants de leur mode de vie (*voir* le chapitre 3).

La contamination de la chaîne alimentaire est elle aussi une source de préoccupation. La fonte du pergélisol libère dans les cours d'eau et l'océan de plus en plus de mercure, qui s'accumule tout au long de la chaîne alimentaire. Ces quantités de mercure et d'autres matières contaminantes provenant de latitudes plus basses peuvent avoir des effets défavorables sur les peuples de l'Arctique et, en particulier, sur

les femmes autochtones. On a trouvé chez des femmes de l'île de Baffin, du Nunavik et du Groenland des concentrations très élevées de mercure dans le sang et dans le lait maternel. Or, ces populations consomment beaucoup de viande de phoque et de poisson (Arctic Monitoring and Assessment Program, 2003).

Le développement industriel dans le Nord viendra probablement ajouter à la contamination des aliments marins provenant de l'Arctique. L'exploitation des gisements de gaz naturel et de pétrole à Hammerfest, en Norvège, progresse à mesure que la glace disparaît. Des réserves de pétrole ont été identifiées à 320 km du pôle Nord, et le champ de Shtokman, dans la partie russe de l'océan, est considéré comme la plus grande réserve extracôtière de gaz du monde. Le réchauffement et la réduction de la glace de mer qui l'accompagne rendent l'exploitation de ces ressources de plus en plus envisageable (*voir* le chapitre 3).

Substances toxiques

Des polluants organiques persistants (POP), dont l'hexachlorocyclohexane (HCH), le dichloro-diphényl-trichloroéthane (DDT), le toxaphène et des polychlorobiphényles (PCB), d'origines industrielle et agricole, ainsi que certains métaux lourds, ont été détectés dans tout le milieu circumpolaire à des concentrations étonnamment élevées (Affaires indiennes et du Nord Canada, 1997). Les sources de POP dans l'Arctique canadien, de même que les PCB provenant des stations du Réseau d'alerte avancée (Distant Early Warning, ou DEW), sont peu importantes comparées à la quantité de ces substances transportées sur une grande distance à partir du Sud (Europe, Asie et Amérique du Nord). La bioaccumulation et la bioamplification des POP dans le milieu arctique se sont traduites par des concentrations élevées de certains d'entre eux dans les tissus lipidiques de certains animaux, en particulier de mammifères marins, comme le béluga, le narval, le morse, le phoque annelé et l'ours blanc. Ces animaux faisant partie de l'alimentation des Inuits, la présence de certains POP dans leur organisme atteint parfois des niveaux susceptibles d'avoir des effets sur le système immunitaire, sur le développement neurocomportemental et sur la reproduction (Dewailley et Furgal, 2003).

Macdonald *et al.* (2003) font remarquer que l'élévation des températures planétaires aura des effets directs sur les contaminants : augmentation de la volatilité, accélération de la dégradation et modification du partitionnement entre phases (Macdonald *et al.*, 2003). Les changements des dates de début des saisons et de leur longueur joueront probablement un rôle déterminant dans les modifications de la répartition spatiale et des concentrations des matières contaminantes arrivées dans l'Arctique par transport à grande distance. L'Arctic Climate Impact Assessment note que le changement climatique et la pollution dans l'Arctique sont étroitement liés et que :

« Une fonte plus généralisée de la glace de mer de plusieurs années et de la glace de glaciers pourra causer des rejets soudains des polluants qui ont été piégés dans cette glace pendant de nombreuses années ou même des décennies. » (McCarthy *et al.*, 2005, p. 954 [traduction])

Bien que la nature bilatérale (Canada – États-Unis) des matières contaminantes constitue pour le Canada une préoccupation d'ordre particulièrement crucial, le transport atmosphérique à plus grande distance est de plus en plus préoccupant (Affaires indiennes et du Nord Canada, 1997). On a commencé à déceler dans le Nord canadien la présence de polluants liés aux émissions provenant des économies à croissance rapide de la Chine, du Japon et de l'Asie du Sud-Est. Certains d'entre eux sont produits par la volatilisation des eaux de surface des lacs, comme les Grands Lacs et les lacs de l'Asie, où le transport atmosphérique à grande ou à courte distance avait auparavant déposé ces substances. Ce processus se produit pendant la saison chaude, les contaminants toxiques remontant de plus en plus loin vers le nord, jusqu'aux régions où les eaux restent trop froides toute l'année pour qu'il se poursuive. À mesure que les lacs se réchaufferont sous l'effet d'un climat en évolution, la volatilisation se fera de façon plus courante. De cette manière, la contribution de ces sources de l'hémisphère Nord à la présence de matières contaminantes dans l'Arctique augmentera graduellement. On ne sait toujours pas à l'heure actuelle si les changements futurs des régimes de circulation atmosphérique atténueront ou aggraveront le processus de transport et de dépôt de matières contaminantes dans l'Arctique.

Contrôle et sécurité assurés par le Canada

Le Royaume-Uni a conféré au Canada la souveraineté sur l'Arctique par l'entremise de mesures juridiques et politiques qui remontent à la Charte de 1670 accordée par le roi Charles II à la Hudson's Bay Company (Compagnie de la Baie d'Hudson). En 1870, celle-ci a transféré au Canada le titre afférent au bassin versant de la baie d'Hudson et, après que le Parlement se fut adressé à la Reine Victoria pour exprimer des doutes quant à la frontière nord du Canada, le Royaume-Uni a transféré au Canada, en 1880, tout le territoire de l'Amérique du Nord britannique et les îles adjacentes, à l'exception de Terre-Neuve. Entre 1898 et 1910, le Danemark et la Norvège ont tous deux contesté la souveraineté du Canada sur certaines îles. Cependant, le Canada a pris plusieurs mesures pour réaffirmer sa propriété et, moyennant compensation, la Norvège a renoncé à ses revendications sur l'Arctique en 1931. Le seul point en suspens est le différend avec le Danemark au sujet de la minuscule île Hans, située entre le Groenland et l'île d'Ellesmere.

La souveraineté du Canada sur les terres étant acquise en pratique, l'attention s'est tournée vers l'océan et, en particulier, vers le passage du Nord-Ouest. Les États-Unis et l'Union européenne maintiennent que le passage est un détroit pouvant servir à la navigation internationale, leur permettant ainsi de traverser les eaux territoriales canadiennes, alors que le Canada le considère comme des eaux intérieures sur lesquelles il a pleine compétence et plein contrôle (p. ex., Rothwell, 1993; Charron, 2005). Le degré de contrôle que le Canada peut exercer sur ces eaux n'est pas le même s'il s'agit d'eaux intérieures, comme il le prétend, ou d'un détroit pouvant servir à la navigation internationale. Lorsque le superpétrolier américain *Manhattan* a emprunté, en 1969, le passage du Nord-Ouest, la situation a cristallisé les préoccupations du Canada à ce sujet et donné naissance à des mesures législatives, dont la *Loi sur la prévention de la pollution des eaux arctiques*. De même, le passage, en 1985, du brise-glace américain *Polar Sea* a porté le Canada à avoir recours à des mesures juridiques sous forme de « lignes de base droites » tracées autour des terres et des eaux océaniques qu'il revendique et, en 1988, les États-Unis et le Canada ont conclu l'Accord sur la coopération dans l'Arctique, aux termes duquel, dans l'avenir, le passage de brise-glaces serait assujetti au consentement du Canada. Cet accord n'a pas de portée sur les positions juridiques des deux parties quant au statut du passage. L'augmentation du trafic maritime dans les eaux arctiques canadiennes exigera probablement que l'on y accroîtra les mesures de contrôle, de surveillance et d'entretien des aides à la navigation maritimes et les services de recherche et de sauvetage.

4 EFFETS SUR LES CONTINENTS (AMÉRIQUE DU NORD)

4.1 IMPLICATIONS EN MATIÈRE D'EAU

L'élévation des températures et les changements du régime de précipitations touchent l'approvisionnement, la demande et la qualité de l'eau au Canada, aux États-Unis et au Mexique. La plupart des tendances constatées depuis 35 ans devraient se poursuivre dans les décennies à venir. Au Canada, cet état de choses correspond à deux grands problèmes : la gestion des bassins versants frontaliers et transfrontaliers communs avec les États-Unis (Commission mixte internationale, 1997) et la réponse aux demandes d'exportation d'eau vers les régions sèches des États-Unis et du nord du Mexique (Bruce *et al.*, 2003).

Eaux frontalières et transfrontalières du Canada et des États-Unis

Il existe une douzaine de grands bassins ou groupes de petits bassins bilatéraux dont la responsabilité a été confiée à la Commission mixte internationale (CMI) aux termes du Traité des eaux limitrophes internationales de 1909. Des ententes de partage de l'eau ont été conclues pour nombre de ces bassins et de leurs sous-bassins dont les eaux traversent la frontière en direction nord ou sud, ou forment la frontière. De plus, dans certains bassins, des ententes de lutte contre la pollution sont en place pour protéger les écosystèmes et la qualité de l'eau (p. ex., dans le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent). Or, le changement climatique commence à avoir des conséquences tant sur la qualité que sur la quantité de ces eaux, et sur la capacité d'un pays à honorer ses obligations vis-à-vis de l'autre (Bruce *et al.*, 2003).

Pour illustrer les proportions que pourrait prendre cette question, le tableau 4 présente la tendance linéaire (de 1970 à 2000) des débits annuels et des débits minimum et maximum pour les grands cours d'eau bilatéraux. La plupart coulent vers le sud, à l'exception de la rivière Rouge qui coule vers le nord à partir des Dakotas, où l'on a noté une augmentation importante du taux de précipitations (Bruce *et al.*, 2003). Ces stress bilatéraux viennent se superposer aux problèmes d'ordre national de gestion de l'eau (Cohen *et al.*, 2004).

Dans le cas du fleuve Columbia, on s'attend à ce que se poursuive la tendance à une augmentation du débit en hiver et à une réduction au printemps. Les changements de la demande d'eau aux États-Unis, combinés au changement climatique, pourraient avoir un effet grave sur la production d'hydroélectricité et autres utilisations de l'eau au Canada, surtout dans les zones plus sèches du sud de la partie canadienne du bassin (p. ex., les lacs Okanagan et Osoyoos; *voir* le chapitre 8; Cohen *et al.*, 2000; Payne *et al.*, 2004). Des processus en place, grâce auxquels on peut examiner les règlements en vue de leur apporter des modifications en 2013, permettent ainsi que l'on prenne en considération l'adaptation au changement climatique.

La rivière Souris quitte la Saskatchewan à Sherwood, gagne le Dakota du Nord et revient au Canada (au Manitoba), à Westhorpe (ND). Dans des conditions climatiques « normales », chaque pays peut utiliser 50 p. 100 du débit naturel jusqu'à la traversée de la frontière. Le débit naturel est calculé par un conseil conjoint relevant de la CMI, qui prend le débit mesuré et l'ajuste en fonction des prélèvements humains et de l'évaporation dans les réservoirs en amont. À la traversée de Sherwood, le Canada doit livrer la moitié des 50 000 premiers décamètres cubes (40 500 acres-pieds) du débit naturel entre le 1er janvier et le 31 mai. Avec la tendance à la baisse (de 7 à 2,5 m^3/s) du débit naturel annuel moyen enregistrée entre 1973 et 1998, il y a eu, entre 1988 et 2000, cinq années au cours desquelles le Canada n'a pas pu honorer cette obligation (Bruce *et al.*, 2003). Il existe cependant une clause de l'accord, qui a dû être invoquée, qui exige de fournir au Dakota du Nord 40 p. 100 du débit naturel pendant la période cruciale. Puisque les problèmes liés à la baisse du débit et à l'augmentation de la consommation aux fins d'irrigation et d'abreuvement du bétail vont se poursuivre et s'aggraver à cause du changement climatique, il deviendra de plus en plus souvent difficile de respecter l'objectif quantitatif initial (Bruce *et al.*, 2003).

Il a d'ailleurs été très difficile de respecter certaines dispositions des ententes de répartition, établies en 1921, sur les rivières Milk et St. Mary en raison de la baisse des débits dans le sud de l'Alberta et de la réduction du volume d'eau de fonte provenant du cours supérieur du parc national Glacier[5], aux États-Unis. Ces tendances et la demande accrue aux fins d'irrigation ont atteint, en 2003, le point où le gouverneur du Montana a demandé que les ententes en place soient reconsidérées. Les discussions bilatérales se poursuivent avec l'aide de la CMI.

Dans le bassin des Grands Lacs, le Traité sur la rivière Niagara, de 1950, est une entente cruciale sur le partage de l'eau. Une quantité convenue, 100 000 pieds cubes par seconde le jour et 50 000 la nuit, peut s'écouler dans les chutes Niagara pour le bénéfice des touristes. Le reste est divisé également entre l'Ontario et l'État de New York aux fins de production d'hydroélectricité. On a remarqué que le secteur supérieur des Grands Lacs (lacs Supérieur, Michigan et Huron) a progressivement moins de glace et des températures en surface plus élevées à mesure que le climat se réchauffe et, donc, les pertes par évaporation en hiver ont considérablement augmenté et vont continuer à le faire. Une conséquence de cet état de choses a été une baisse de 7 p. 100 du débit annuel moyen de la rivière Niagara entre 1970 et 2000 (Bruce *et al.*, 2003). Cette baisse va se poursuivre avec l'évolution du climat, et il faudra peut-être donc ajuster l'entente et les utilisations de l'eau (Mortsch *et al.* 2000; Bruce *et al.*, 2003).

La qualité de l'eau dans les Grands Lacs subit les effets de l'intensification des pluies dans le bassin versant, phénomène responsable de l'augmentation de l'érosion et du transport des polluants dans les lacs, de l'élévation de la température de l'eau et de l'établissement antérieur d'une thermocline, qui fait que les eaux de fond manquent d'oxygène plus tôt dans la saison chaude. Certains se demandent si les deux pays peuvent respecter les objectifs de qualité de l'eau mutuellement convenus dans ces conditions de changement du climat (Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs, 2003). Par exemple, l'augmentation de fréquence des pluies très intenses, caractérisées par une forte érosion et par la création

[5] Le parc national Glacier, qui comptait 150 glaciers en 1850, n'en avait plus de 27 en 2005 et, d'ici 2050, devrait les avoir tous perdus.

TABLEAU 4 : Tendance (pourcentage de changement) des débits annuels des systèmes fluviaux frontaliers du Canada et des États-Unis, de 1970 à 2000 (Bruce *et al.*, 2003).

Cours d'eau	Moyenne	Minimum (quotidien)	Maximum (quotidien)
St. John (Fort Kent)	-13	71	-16
St. Croix	-21	-23	-26
Niagara (Queenston)	-7	-8	-9
Rainy (Fort Frances)	-22	-12	-27
Lac des Bois (exutoire ouest)	-21	-59	-29
Red (Emerson)	124	159	63
Souris (Sherwood)	-82	-74	-94
Souris (Westhope)	-42	100	-60
Milk (frontière est)	-22	47	-6
Milk (frontière ouest)	-26	59	-41
St. Mary (frontière)	-7	15	-29
Kootenay (Fort Steele)	3	-4	-12
Columbia (frontière internationale)	4	37	-25
Yukon	1	-1	-12

de sources diffuses de pollution des lacs, aggrave les problèmes liés aux éléments nutritifs, aux agents pathogènes (comme *E. coli*), à la turbidité et aux pesticides (Bruce *et al.*, 2006).

Le Canada et les États-Unis ont toujours pu régler à l'amiable leurs différends sur l'eau par l'intermédiaire de la Commission mixte internationale et du Traité des eaux limitrophes internationales, mais le changement climatique risque de rendre cette relation plus tendue. Pour s'adapter aux changements aussi bien en cours que prévus, il faudra peut-être modifier tant la gestion que les termes de certains de ces accords (Bruce *et al.*, 2003).

Demandes de l'étranger en eau canadienne

Bien que le débit ait considérablement augmenté depuis 60 ans dans les cours d'eau du sud-est des États-Unis, il a baissé dans presque tous ceux de l'ouest, surtout du mois d'avril à l'automne (Frederick et Gleick, 1999; Pulwarty, 2002; Barnett *et al.*, 2005). Dans les régions de fonte de la neige et, surtout, en ce qui a trait aux cours d'eau alimentés par la fonte de la neige dans les cours supérieurs des Rocheuses, la couverture de neige hivernale a été davantage appauvrie par fonte et sublimation. En conséquence, on a remarqué une tendance prononcée à la baisse (entre 1950 et 2000) de l'équivalent en eau de la couverture nivale en avril (Mote *et al.*, 2003) et des changements de la répartition saisonnière des approvisionnements en eau, avec une augmentation du débit en hiver et une diminution le reste de l'année. Les conditions sont maintenant plus sèches pendant les saisons d'irrigation et d'abreuvement du bétail (à l'été et à l'automne). La tendance à plus long terme, depuis 1900, dans le sud-ouest des États-Unis et au Mexique a été une augmentation de l'Indice Palmer de gravité des sécheresses (*voir* la figure 3; Dai *et al.*, 2004).

Cette tendance à la sécheresse dans l'ouest des États-Unis, surtout au cours de la saison de croissance, a aggravé la situation de surattribution des eaux du Colorado à des utilisateurs de nombreux États (Glick et Chalecki, 1998). Les baisses saisonnières des débits du fleuve Columbia et de la rivière Sacramento déclenchent également des conflits liés aux utilisations, dont la protection de l'écosystème fluvial et des poissons (p. ex., Cohen *et al.*, 2000). Un pompage excessif de l'eau de l'aquifère Ogallala au Nebraska, en Oklahoma et dans les hautes plaines du Texas, en a gravement fait baisser le niveau et réduit les approvisionnements aux fins d'utilisations agricoles et autres. D'autres conflits commencent à voir le jour entre le Mexique et les États-Unis au sujet du partage de quantités d'eau réduites dans les cours d'eau frontaliers et transfrontaliers (Salman, 2006).

En guise de solution à ces problèmes, certains se sont tournés vers le Nord, vers les eaux apparemment abondantes de la Colombie-Britannique et des Grands Lacs. Des analystes ont cependant avancé que des mesures efficaces de conservation de l'eau permettraient de répondre à tous les besoins essentiels, aussi bien maintenant que dans un avenir rapproché, en n'ayant recours qu'aux seules réserves appartenant entièrement aux États-Unis (Frederick et Gleick, 1999). À plus long terme, si la tendance à la sécheresse se poursuit selon les projections, même cela ne sera peut-être plus possible.

Conscients de l'intérêt que présente la possibilité d'exporter l'eau des Grands Lacs, les gouverneurs des huit États des Grands Lacs, en coopération avec l'Ontario et le Québec, ont négocié en 2005 une entente conformément à l'annexe de la Charte des Grands Lacs (2001). Aux termes de cette entente, il n'y a pas de dérivation d'eau à l'extérieur du bassin des Grands Lacs, à quelques exceptions près. Une clause de droits acquis exempte l'importante dérivation (3 200 pieds cubes par seconde) des eaux du lac Michigan, à Chicago, vers le réseau du Mississippi, dont la quantité est régie par un jugement de la Cour suprême des États-Unis. L'autre exception à l'interdiction de détournement de l'eau vers l'extérieur du bassin concerne les comtés et collectivités chevauchants, soit ceux dont les limites, en date de 2005, chevauchaient la limite du bassin hydrographique des Grands Lacs.

Comme on s'attend à ce que l'augmentation de l'évaporation due au changement climatique fasse baisser les niveaux des Grands Lacs et les débits des cours d'eau du système, dont le Saint-Laurent, on prévoit des répercussions défavorables sur la navigation, sur la production d'hydroélectricité et sur la qualité de l'eau (Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs, 2003), et ce, en supposant qu'il n'y ait pas d'autres détournements de l'eau vers l'extérieur du système. Le Canada et les provinces doivent rester vigilants face à cette menace et encourager la conservation de la ressource par toutes les instances. Une modification apportée récemment par le Canada à la *Loi sur le Traité des eaux limitrophes internationales* interdit les prélèvements massifs et les détournements des eaux frontalières et transfrontalières, mais ne couvre pas les tentatives de détournement des eaux intérieures canadiennes. Il s'agit là d'une question qu'un certain nombre de provinces ont elles aussi réglementée de la même façon.

Au Mexique aussi, les approvisionnements en eau, déjà très limités, sont à la baisse dans les régions limitrophes des États-Unis, et ce pays a déjà envisagé d'en faire venir du Nord, soit du Canada. Les experts en commerce ne s'entendent toujours pas pour établir si les

exportations d'eau seraient prévues ou obligatoires aux termes de *l'Accord de libre échange nord-américain* (ALENA). Cette entente n'interdit pas spécifiquement l'exportation d'eau mais, d'un autre côté, ne comporte pas d'obligation à cet égard. Cependant, l'exportation massive dans une seule région pourrait créer un précédent.

4.2 QUESTIONS LIÉES À L'ÉNERGIE

Les produits énergétiques sont une composante importante des exportations canadiennes[6]. L'exportation d'énergie vers les États-Unis (qui constitue plus de 95 p. 100 des exportations d'énergie du Canada) a augmenté de près de 17 p. 100 par an entre 1996 et 2005 (*voir* le tableau 5). Le Canada exporte aux États-Unis du gaz naturel, du pétrole brut, du pétrole raffiné, de l'électricité et du charbon.

Le changement climatique entraînera une modification des besoins en énergie, tant au Canada qu'aux États-Unis, ce qui va très probablement avoir des conséquences sur les exportations d'énergie. Il modifiera aussi la capacité de production d'hydroélectricité du Canada et ses exportations d'électricité vers son voisin du Sud. Enfin, les efforts de réduction des émissions de gaz à effet de serre auront probablement une incidence sur les marchés d'exportation des divers produits énergétiques.

Demande d'énergie

Au Canada, le changement climatique fera baisser la demande de chauffage des locaux et, donc, la consommation de gaz naturel et de mazout de chauffage domiciliaire (Bhartendu et Cohen, 1987; Findlay et Spicer, 1988). Il fera par contre monter la charge de climatisation, d'où une augmentation de la demande d'électricité pendant l'été. Or, l'accroissement de la demande aux fins de climatisation est plus rapide que l'élévation de la température annuelle moyenne. Une élévation de 3 °C de la température maximale quotidienne moyenne fait monter la demande de pointe d'énergie de 7 p. 100, soit 1200 MW (Colombo *et al.* 1999). Au Canada, cependant, la demande énergétique globale devrait baisser dans les décennies à venir.

Aux États-Unis, l'effet le plus remarquable se fera sentir au niveau de la charge de climatisation, entraînant une hausse de la demande globale d'énergie (Edwards, 1991; Sailor et Muñoz, 1997; Considine, 2000; Sailor, 2001; Amato *et al.*, 2005). Si la température monte de 5 °C d'ici 2100, la situation se traduira par une perte de bien-être de 40 milliards de dollars liée à l'augmentation de la demande énergétique (Mansur *et al.*, 2005). Les changements de la demande d'énergie au Canada se répercuteront sur les quantités disponibles pour l'exportation et l'augmentation de la demande aux États-Unis se répercutera sur leurs importations d'énergie.

Charbon

Le Canada dispose d'abondantes ressources en charbon, surtout dans l'ouest (Office national de l'énergie, 2003). Environ 90 p. 100 du charbon extrait au Canada est consacré à la production d'électricité en Alberta, en Saskatchewan et dans le nord-ouest de l'Ontario. Dans le sud de l'Ontario, au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse, on utilise à cette fin du charbon importé. Les exportations de charbon sont essentiellement celles de charbon métallurgique à destination des marchés de l'Asie. La demande d'énergie record liée à l'augmentation de la climatisation et à la réduction de la production d'hydroélectricité à cause de la sécheresse est intervenue dans la décision de l'Ontario de reporter la fermeture de ses centrales alimentées au charbon (Independent Electricity System Operator, 2006), fermeture qui ferait baisser les importations de charbon en provenance des États-Unis.

TABLEAU 5 : Exportations canadiennes d'énergie vers les États-Unis (Industrie Canada, 2006).

	Valeur (en millions de dollars de 2005)							Croissance annuelle moyenne [1]
	1996	1997	1999	2000	2002	2003	2005	
Gaz naturel et liquides du gaz naturel	9 875	10 906	12 106	22 924	10 391	28 484	38 807	20,2 p. 100
Pétrole brut	10 970	11 390	10 121	19 334	18 015	20 414	29 913	15,4 p. 100
Pétrole raffiné	3 464	3 402	3 327	5 615	7 036	8 006	10 972	15,9 p. 100
Électricité	1 218	1 377	1 923	4 059	1 812	1 852	3 168	19,5 p. 100
Charbon et combustibles solides à base de charbon	88	66	55	120	162	150	260	19,9 p. 100
Autres biens énergétiques	418	515	541	643	722	678	897	9,3 p. 100
Total des exportations d'énergie vers les États-Unis	26 032	27 657	28 073	52 693	48 139	59 584	84 017	16,9 p. 100
Total des exportations vers les États-Unis	223 177	243 888	308 076	359 289	345 366	326 700	365 741	5,9 p. 100
Exportations d'énergie exprimées en pourcentage du total des exportations vers les États-Unis	11,7 p. 100	11,3 p. 100	9,1 p. 100	14,7 p. 100	13,9 p. 100	18,2 p. 100	23,0 p. 100	

[1] Moyenne de la croissance interannuelle sur 10 ans; la croissance moyenne globale est plus élevée.

[6] On entend ici par « produits énergétiques » ceux que couvre le chapitre 6 de l'ALENA : Produits énergétiques et Produits pétrochimiques de base. On y inclut la plupart des produits raffinés et non raffinés d'hydrocarbures, l'uranium et l'électricité.

Pétrole brut

Les ressources en pétrole brut sont situées surtout dans l'ouest du Canada, mais aussi dans le nord du pays et au large de Terre-Neuve et de la Nouvelle-Écosse (Office national de l'énergie, 2003). La production de brut classique est à la baisse dans l'ouest du Canada et devrait culminer d'ici dix ans sur la côte Est (Office national de l'énergie, 2003). On prévoit la croissance rapide des activités de production des sables bitumineux dans les 20 prochaines années, production qui devrait plus que contrebalancer la baisse de production provenant de sources classiques (Office national de l'énergie, 2003).

Le brut canadien alimente des raffineries situées dans l'ouest du Canada et aux États-Unis, alors que celles de l'Est canadien utilisent du brut importé. Plus de la moitié de la production du Canada est donc exportée vers les États-Unis dont on prévoit que les importations vont augmenter; la part du Canada dans ce marché devrait cependant rester à environ un tiers (Energy Information Administration, 2006). Les efforts faits par les États-Unis pour accroître leur sécurité énergétique pourraient entraîner une baisse des importations et peut-être toucher celles en provenance du Canada.

Le principal effet du changement climatique sur les exportations canadiennes d'hydrocarbures sera probablement l'impact de la réduction des approvisionnements en eau dans le nord de l'Alberta sur l'exploitation des sables bitumineux (Bruce, 2006; Schindler et Donahue, 2006). Comme l'extraction et la valorisation du bitume consomment beaucoup d'eau, il est possible que les taux actuellement prévus d'exploitation des sables bitumineux soient réduits si l'on veut respecter en aval les exigences de débit entrant concernant la rivière Athabasca (Bruce, 2006). Une amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau serait une précieuse mesure d'adaptation.

Gaz naturel

On exploite le gaz naturel dans l'ouest du Canada et au large de la Nouvelle-Écosse, et il en existe d'importantes réserves dans l'Arctique (Office national de l'énergie, 2003). La production devrait rester assez constante, du moins jusqu'à la construction d'un pipeline transportant le gaz de l'Arctique (Office national de l'énergie, 2003). Environ la moitié de la production du Canada est présentement exportée vers les États-Unis, mais ces exportations devraient baisser à mesure que la production déclinera et que la demande intérieure augmentera (Office national de l'énergie, 2003). Bien qu'on prévoie que le changement climatique entraînera une baisse de la demande pour le chauffage des locaux au Canada, d'autres utilisations devraient prendre de l'expansion et faire croître la demande intérieure de gaz naturel (Office national de l'énergie, 2003).

Électricité

L'hydroélectricité représente environ 60 p. 100 de l'électricité produite au Canada, le reste provenant en grande partie de centrales alimentées au charbon, mais ces proportions relatives varient considérablement d'une province à l'autre. Depuis longtemps, le Canada exporte vers les États-Unis 7 p. 100 à 9 p. 100 de son électricité, surtout en provenance des régions riches en hydroélectricité : Colombie-Britannique, Manitoba et Québec. Les importations d'électricité totalisent en moyenne à peu près un quart des exportations. Elles sont régies par les différences transfrontalières entre les périodes de pointe et la possibilité pour les entreprises de services publics disposant d'une capacité de stockage de l'hydroélectricité d'en acheter hors pointe et d'en vendre davantage pendant les périodes de forte demande.

Aux États-Unis, environ la moitié de l'électricité est produite par des centrales alimentées au charbon et cette même électricité génère à elle seule près de 40 p. 100 des émissions de CO_2 (Energy Information Administration, 2006). Les centrales ayant une longue durée de vie utile, les proportions des divers modes de production ne changeront probablement que graduellement (Morgan *et al.*, 2005). On prévoit que le changement climatique entraînera une baisse du potentiel de production d'hydroélectricité du fleuve Colorado et autres cours d'eau de l'Ouest, surtout en été, période pendant laquelle l'électricité sert surtout à répondre à la demande toujours croissante de climatisation (Edwards, 1991; Christensen *et al.*, 2004).

Le changement climatique pourrait donc également nuire à la capacité de répondre à la demande de climatisation aux États-Unis (et au Canada) à l'aide de l'hydroélectricité produite au Canada. Bien qu'on projette qu'il fasse croître le potentiel hydroélectrique dans le nord du Québec et au Labrador (Mysak, 1993; Mercier, 1998), on a constaté depuis 1970 une réduction du débit de la plupart des grands cours d'eau se déversant dans les baies d'Hudson, James et d'Ungava, à l'exception du fleuve Nelson (Déry *et al.*, 2005). En Ontario et dans les Prairies, le potentiel hydroélectrique serait probablement réduit, sauf dans le cas de la rivière Winnipeg et du fleuve Nelson. Dans le sud-est de la Colombie-Britannique, la combinaison de la petite augmentation projetée des précipitations et de l'augmentation de l'évaporation des réservoirs due au réchauffement pourrait se traduire par une baisse du potentiel hydroélectrique, surtout s'il faut répondre aux besoins de débit réservé et d'irrigation en aval (Raban, 1991; Mercier, 1998; Payne *et al.*, 2004). On a prévu que la réduction de la production d'hydroélectricité due aux baisses des niveaux des Grands Lacs et, donc, des débits de la rivière Niagara et du Saint-Laurent pourrait atteindre 17 p. 100 d'ici à 2050 (Tin, 2006).

Les producteurs d'électricité se trouveront confrontés à un défi : répondre à la demande croissante de climatisation en Amérique du Nord malgré la baisse de la production d'hydroélectricité dans certaines régions, tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. La solution la plus simple serait de faire face à cette demande accrue en utilisant des centrales au gaz, qui conviennent bien pour répondre à des demandes de pointe. Mais la portée d'une telle solution est limitée, puisqu'on prévoit des réductions de l'approvisionnement et des hausses de prix pour le gaz naturel. Les sources d'énergie renouvelable, comme les filières éolienne et solaire, ne produisent de l'électricité que quand les conditions sont favorables et elles risquent de ne pas pouvoir répondre à la demande pour la climatisation quand elle survient. Les centrales nucléaires sont les plus adéquates pour assurer un approvisionnement constant; elles le sont moins quand il s'agit de répondre à une demande variable comme celle de la climatisation. Les entreprises de services publics des deux pays vont probablement devoir recourir à un mélange de mesures liées à la demande, comme l'efficacité énergétique, et de mesures liées à la production pour faire face aux répercussions qu'entraîne la demande.

Uranium

Le Canada est le plus gros producteur et exportateur au monde d'uranium, le combustible des centrales nucléaires. Des efforts planétaires visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre pourraient entraîner une augmentation de la production d'énergie nucléaire dans certains pays. Il pourrait s'ensuivre une hausse des exportations d'uranium pour le Canada.

Résumé

Le changement climatique fera baisser l'utilisation d'énergie pour le chauffage des locaux, ce qui fera consommer moins de gaz naturel et de mazout domestique. Le gaz naturel ainsi économisé va simplement atténuer les pénuries prévues pour l'Amérique du Nord.

Les entreprises de services publics, tant du Canada que des États-Unis, devront recourir à un mélange d'efficacité énergétique et d'options de production propres à leur région pour faire face à la demande. La situation sera plus délicate aux États-Unis, qui sont alimentés davantage par des centrales alimentées au charbon et où l'on prévoit une plus grande croissance de la demande pour la climatisation. Il ne semble pas que le Canada sera en mesure d'accroître suffisamment ses exportations d'électricité ou de gaz naturel pour aider à répondre à la demande des États-Unis.

4.3 QUALITÉ TRANSFRONTALIÈRE DE L'AIR

Même si le transport transfontalier de polluants atmosphériques entre les États-Unis et le Canada a fait l'objet de nombreuses constatations en ce qui a trait aux pluies acides et à certaines matières contaminantes, on a prêté peu d'attention à l'évaluation des impacts possibles que pourrait avoir sur lui le changement climatique. Ces impacts, qu'ils soient favorables ou défavorables, pourraient découler :

- de changements des régimes de circulation moyens, surtout pendant les vagues de chaleur;
- des élévations de la température de l'air moyenne, de l'augmentation des vagues de chaleur et des effets du rayonnement solaire sur les processus chimiques en jeu dans l'atmosphère;
- des mesures correctrices prises pour améliorer la qualité de l'air et faire baisser les émissions.

Les régions du Canada qui sont actuellement les plus touchées sont le sud de l'Ontario et du Québec, le sud-ouest du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse, le sud de la Colombie-Britannique et le sud-ouest de l'Alberta.

Les principaux sujets de préoccupation sont les concentrations d'ozone troposphérique, les particules fines (*particulate matter*, ou $PM^{2.5}$), le dépôt acide, le mercure et plusieurs autres substances chimiques toxiques. Les effets de ces contaminants atmosphériques sur la santé humaine et sur les écosystèmes sont abordés dans les chapitres régionaux, en particulier ceux concernant l'Ontario et le Québec. Le nombre estimatif de décès prématurés dus à ces causes, pour un total de huit villes du Canada, est de 5 900 par an (Judek *et al.*, 2004).

En ce qui concerne les questions cruciales ayant trait à la pollution atmosphérique sur la frontière entre les États-Unis et le Canada, les deux pays ont convenu de mesures de lutte contre la pollution visant à en atténuer les effets, par l'intermédiaire de l'Accord entre le Canada et les États-Unis sur la qualité de l'air de 1991 et de son annexe sur l'ozone de 2000 (Comité Canada–États-Unis sur la qualité de l'air, 2006). Les régions d'intérêt particulier sont le détroit de Georgia, sur la côte du Pacifique, et le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent. Le rapport d'étape 2006 fait remarquer que les concentrations d'ozone troposphérique, dont la moyenne a été établie sur trois ans, sont restées à des niveaux élevés et inacceptables entre 2002 et 2004. La moyenne des concentrations quotidiennes les plus élevées sur une période maximale de huit heures a dépassé 95 ppm dans le sud-ouest de l'Ontario et 80 ppm sur une région beaucoup plus grande s'étendant au sud-ouest d'une ligne reliant la vallée des Outaouais et l'extrémité nord de la baie Georgienne, et ce, malgré le succès de programmes mis en place dans les deux pays visant la réduction des précurseurs chimiques, des composés organiques volatils (COV) et des oxydes d'azote (NOx). Les fortes concentrations d'ozone se produisent pendant les épisodes de smog qui surviennent au cours des vagues de chaleur, d'ailleurs plus fréquentes en raison de l'évolution du climat, alors que les températures élevées et la lumière solaire agissent sur les précurseurs chimiques émis pour ainsi créer de l'ozone.

Le nombre annuel moyen d'avis de smog, qui était de 7 entre 1993 et 1998, est passé à 24 entre 2000 et 2005; un record de 53 avis a été établi en 2005 (Yap *et al.*, 2005). La durée des « vagues de chaleur » dans la région des Grands Lacs s'est allongée entre 1951 et 2003 (Alexander *et al.*, 2006). Les épisodes de forte chaleur (où la température dépasse 30 °C) devraient doubler d'ici 2050 et plus que tripler d'ici 2080 (Cheng *et al.*, 2005). Des vagues de chaleur plus intenses, plus fréquentes et plus longues sont prévues tant pour l'Europe que pour l'Amérique du Nord (Meehl et Tebaldi, 2004). L'évolution du climat pourrait donc empêcher les efforts de lutte contre la pollution atmosphérique d'avoir l'effet souhaité, soit faire baisser les concentrations d'ozone. Ces épisodes de smog de temps chaud sont accompagnés de concentrations élevées de particules ($PM^{2.5}$). On estime que les polluants transfrontaliers sont responsables de 99 p. 100 des épisodes de smog à Windsor et de 84 p. 100 de ces mêmes épisodes sous le vent de Toronto (Yap *et al.*, 2005). Au Québec, on estime que 30 p. 100 des polluants à l'origine de ces épisodes prennent leur source aux États-Unis et 30 p. 100, en Ontario, le reste étant produit sur place. Réduire les risques pour la santé exigera que l'on redouble d'efforts en vue d'abaisser les concentrations de NOx et de COV au Canada et aux États-Unis.

Le problème du dépôt acide dans les lacs et les forêts du Canada a été quelque peu atténué par les réductions des émissions de SO^2 aux États-Unis et au Canada (Comité Canada–États-Unis sur la qualité de l'air, 2006). Néanmoins, les effets de ces améliorations dans les écosystèmes aquatiques sont tributaires d'autres facteurs, dont les différentes caractéristiques des lacs et les interactions climatiques (Comité Canada–États-Unis sur la qualité de l'air, 2006), et de nombreux lacs ne montrent pas encore de signes de rétablissement. Les travaux menés dans la région des lacs expérimentaux, dans le nord-ouest de l'Ontario, semblent indiquer que le changement climatique contribue au ralentissement de la réaction attendue des lacs (Schindler *et al.*, 1996).

Il faudra mener d'autres activités de recherche et de surveillance pour combler les lacunes sur le plan des connaissances en ce qui concerne l'interaction, dans les écosystèmes lacustres, entre le dépôt acide et le changement climatique, et les répercussions des tendances du climat sur le transport des substances chimiques toxiques.

5 OBLIGATIONS INTERNATIONALES DU CANADA EN MATIÈRE D'ADAPTATION

> *« Le changement climatique constitue un défi grave et à long terme qui est susceptible d'affecter tous les points du globe. »* (G-8 Gleneagles, 2005, p. 1 [traduction])

Une réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle planétaire facilitera l'adaptation en ralentissant le taux de progression du changement climatique. En signant la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et le Protocole de Kyoto, le Canada et d'autres pays industrialisés se sont engagés non seulement à réduire les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi à :

- aider les pays en développement particulièrement vulnérables aux effets défavorables du changement climatique à assumer les coûts de l'adaptation à ces effets;
- faciliter le transfert vers les pays en développement de technologies et de savoir-faire respectueux de l'environnement.

L'accroissement des émissions mondiales à l'origine de la hausse concomitante continue des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre forcera la plupart des pays à faire de plus grands efforts d'adaptation.

5.1 BESOINS EN ADAPTATION DANS LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT

Quelques-uns des facteurs clés qui permettront de donner aux populations vulnérables les moyens de faire face à l'évolution du climat et de s'adapter à long terme ont été identifiés comme suit (Zubair, 2004) :

- renforcement de la capacité en science et technologie du climat, notamment surveillance, utilisation accrue de la télédétection, renforcement de la structure scientifique;
- amélioration des évaluations de la vulnérabilité, des impacts et des options d'adaptation;
- utilisation accrue des enseignements tirés de l'adaptation à la variabilité du climat;
- autonomisation des citoyens, surtout les jeunes, grâce à des programmes d'information.

L'article 12 du Protocole de Kyoto, qui établit le Mécanisme pour un développement propre (MDP), indique qu'une part des fonds provenant du MDP est destinée à aider les pays en développement qui sont particulièrement vulnérables aux effets défavorables du changement climatique à financer le coût de l'adaptation. Cette part a été fixée à 2 p. 100 des réductions certifiées des émissions (RCE) obtenues pour la plupart des projets MDP. Le MDP en est encore à ses débuts, et les premières RCE n'ont été émises qu'en 2006, de sorte qu'il est difficile d'évaluer les recettes auxquelles on peut s'attendre pour l'aide à l'adaptation; elles ont été estimées à 325 millions d'euros d'ici à 2012, en fonction d'une plage de 125 à 570 millions d'euros (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, 2006). Il est à remarquer que la vulnérabilité est fonction de plusieurs facteurs, notamment le niveau de revenu, d'éducation et d'accès aux ressources (*voir* le chapitre 2).

Il existe aussi une aide multilatérale à l'adaptation, mais les montants fournis sont restés faibles. La situation estimée (en date de 2006) du niveau de financement de l'adaptation aux termes de la Convention cadre, du Protocole de Kyoto et du Global Environment Facility (Fonds pour l'environnement mondial), hébergé par la Banque mondiale, est résumée au tableau 6.

Parmi les efforts de renforcement des capacités les plus fructueux figurent ceux qui ont fait participer des collectivités à des projets visant à accroître leur résilience. Par exemple, le Cadre de 2005-2015 de Hyogo a pour but d'accroître la résilience des pays et des communautés par rapport aux désastres (International Strategy for Disaster reduction, 2005b). Dans les régions vulnérables à la sécheresse de l'État de Maharashtra, en Inde, il s'agissait de projets de gestion durable des bassins versants qui faisaient intervenir la remise en état de terres dégradées et l'amélioration des rendements dans une agriculture assujettie aux pluies de mousson. Les projets, entrepris par les villageois qui avaient d'abord suivi un programme de formation, consistaient à « capturer l'eau de pluie là où elle tombe ». Au Soudan, un projet semblable visait la remise en état des parcours. Dans les deux cas, on a pu accroître la résilience aux sécheresses plus prononcées, ponctuées par des épisodes de fortes pluies qui sont le résultat d'un climat en évolution (International Union for Conservation of Nature, 2003). La mise sur pied de programmes d'études de premier cycle et supérieures sur la science du climat et le développement durable a été encouragée dans les Caraïbes et dans les îles du sud-ouest du Pacifique. Ces programmes ont eu des effets très positifs sur les programmes nationaux en matière d'impacts et d'adaptation.

Les Objectifs du Millénaire pour le développement, adoptés en 2000 par 189 nations, présentent un important canevas pour le développement durable dans les pays en développement. Il est maintenant clair que nombre de ces objectifs ne pourront pas être atteints à moins que l'on ne réussisse à s'attaquer efficacement aux impacts de l'évolution du climat. Le premier objectif est d'éliminer l'extrême pauvreté, mais les gens les plus pauvres vivent dans des régions sujettes aux inondations des côtes par les ondes de tempête, les débordements de cours d'eau et les tempêtes violentes, ou dans des régions sujettes à de graves sécheresses; or, ces conditions seront pour la plupart aggravées par l'évolution du climat. Par exemple, les inondations de février 2000 au Mozambique ont anéanti des années de travaux de développement (Reid et Alam, 2005). Les objectifs 4, 5 et 6 concernent la santé humaine; or, le changement climatique fait croître la mortalité et la morbidité dues au paludisme, à la dengue, aux vagues de chaleur et aux catastrophes naturelles. L'épisode d'El Niño chaud en 1983, un avant-goût des températures élevées à venir, et les inondations qui l'ont accompagné ont entraîné, au Pérou, une augmentation de 103 p. 100 de la mortalité infantile (Toledo Tito, 1997). L'objectif 7 est la durabilité de l'environnement; or les limites des écosystèmes sont en voie de modification et leur santé se détériore en raison du changement climatique, surtout dans l'extrême nord et dans les zones de récifs coralliens. Si on ne prête pas attention au changement climatique, les Objectifs du Millénaire pour le développement seront de plus en plus difficiles à atteindre (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat,

TABLEAU 6 : État estimé des fonds alloués à l'aide à l'adaptation aux termes de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (*tiré de* Global Environment Facility, 2006; Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, 2006).

Nom du fonds	Source de financement	Ressources totales mobilisées (en $US)	Critères opérationnels	Principales activités de soutien
I. Fonds établis aux termes de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (articles 4.1, 4.3, 4.4, 4.5, 4.8 et 4.9)				
(a) Fonds spécial pour les changements climatiques	Contributions bénévoles de 11 pays développés (Canada, Danemark, Finlande, Allemagne, Irlande, Pays-Bas, Norvège, Portugal, Suède, Suisse et Royaume-Uni)	45,4 M$US (contributions : 36,7 M$US fonds promis : 8,7 M$US)*	• Coût additionnel des mesures d'adaptation • Échelle de cofinancement	• L'adaptation est considérée comme une des quatre priorités de financement
(b) Fonds pour l'adaptation des pays les moins avancés	Contributions volontaires de 13 pays développés (Canada, Danemark, Finlande, France, Allemagne, Irlande, Italie, Pays-Bas, Nouvelle-Zélande, Norvège, Espagne, Suède et Suisse au 30 avril 2006)	75,7 M$US (contributions antérieures : 29,9 M$US fonds promis : 45,8 M$US allocations du FEM jusqu'à maintenant : 11,8 M$US)**	• Principes directeurs : approche par pays, accès équitable des pays les moins avancés, soutien et priorisation plus rapides des activités • Financement intégral des coûts additionnels des activités d'adaptation prévues et priorisées dans les PANA[1] • Échelle de cofinancement	• Mise en œuvre des PANA[1] (des ressources totales de 9,6 M$US ont été approuvées pour soutenir l'élaboration des PANA dans 44 pays)
II. Fonds établis sous le régime du Protocole de Kyoto (article 4.10)				
(a) Fonds d'adaptation	2 p. 100 du produit du Mécanisme pour le développement propre (MDP)	Pas encore opérationnel – contributions prévues comprises entre 160 M et 950 M$US jusqu'en 2012 (Müller, 2007)	• Principes directeurs : approche par pays et apprentissage par la pratique, saine gestion financière, transparence, séparation des autres sources de financement	• Projets et programmes d'adaptation concrets prévus dans la décision 5/CP7
Global Environment Facility (Fonds pour l'environnement mondial, ou FEM) – Fonds gérés, établis en réaction aux directives de la Conférence des parties (CdP)				
(a) Fonds pour l'environnement mondial – Fonds en fiducie	FEM		• Coût additionnel des activités pour obtenir des retombées environnementales à l'échelle planétaire	• Évaluations de la vulnérabilité et de l'adaptation dans le cadre de communications nationales et d'autres activités habilitantes
(b) Fonds de priorité stratégique pour l'adaptation	FEM	50 M$US dont 25 M$US ont été alloués	• Directives concernant l'établissement des coûts additionnels laissant une certaine marge de manœuvre, en particulier pour le Programme des petites subventions	• Projets pilotes et de démonstration sur l'adaptation • Programme des petites subventions (5 M$US) pour soutenir l'adaptation à l'échelle communautaire

[1] PANA – Programmes d'action nationaux aux fins de l'adaptation

* 2,0 M$US du FEM ont servi à des projets et à du soutien administratif

** 11,8 M$US du FEM alloués au Fonds pour l'adaptation des pays les moins avancés servent à des projets, à des postes administratifs et à des initiatives spéciales

2007b). Pourtant, jusqu'ici, seuls quelques-uns des programmes bilatéraux d'aide au développement ont fait de l'adaptation au changement climatique un élément de leurs efforts.

En 2002, les participants au Sommet mondial pour le développement durable tenu à Johannesburg, en Afrique du Sud, ont adopté le Plan d'application du Sommet en tant qu'élément de la stratégie permettant d'atteindre les Objectifs du Millénaire pour le développement. Les signataires ont convenu d'une série de mesures, dont celles de la protection et de la gestion des ressources naturelles nécessaires au développement social et économique. Le rapport rédigé après la tenue du Sommet a établi que de solides liens existaient entre le développement international et les risques naturels, et incitait le monde à passer à l'action :

> *« 38. Les changements climatiques et leurs effets néfastes sont une préoccupation commune à toute l'humanité. Nous demeurons profondément préoccupés par le fait que tous les pays, en particulier les pays en développement et notamment les pays les moins avancés et les petits États insulaires en développement, sont de plus en plus exposés au risque de subir les effets négatifs du changement climatique*

et nous reconnaissons qu'à cet égard les problèmes de la pauvreté, de la dégradation des sols, de l'accès à l'eau et à la nourriture et de la santé demeurent au centre de l'attention mondiale… Des mesures doivent être prises à tous les niveaux en vue de :

a) Honorer tous les engagements et obligations souscrits en vertu de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques;… » (Nations Unies, 2002, p. 29 [traduction])

Depuis 1994, les petits États insulaires en développement cherchent à mettre en œuvre le programme d'action de la Barbade (Barbados Action Programme) pour le développement durable, qui accorde une priorité élevée à la réponse au changement climatique. Les progrès ont été examinés lors d'une réunion tenue à l'île Maurice en 2005 et à laquelle ont participé 114 pays. L'accent y était mis sur les manières de faire face aux catastrophes naturelles liées au changement climatique, sur le renforcement des capacités, sur les questions de santé et sur la gestion et la protection des ressources côtières et marines. La stratégie de l'île Maurice fait remarquer que les petits États insulaires en développement subissent déjà les effets défavorables du changement climatique et de l'élévation du niveau de la mer. Le Canada a appuyé des études portant sur l'adaptation, des activités de formation et des mesures prises sur place en vue d'accroître la capacité d'adaptation dans les Caraïbes et le sud-ouest du Pacifique. De son côté, la Nouvelle-Zélande a adopté une politique en faveur des immigrants provenant des petites îles dont certaines sont victimes de stress causé par le changement climatique et les inondations (*voir* le renvoi 4 en bas de page).

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat reconnaît qu'il existe des liens évidents entre le changement climatique, l'adaptation et le développement durable, et il leur consacre d'ailleurs tout un chapitre dans son troisième rapport d'évaluation. Dans le résumé, on note que :

> *« De toute évidence, la capacité d'adaptation aux risques du climat est étroitement liée au développement durable et à l'équité, et que l'amélioration de cette capacité est essentielle au développement durable. »* (Smit *et al.*, 2001, p. 899 [traduction])

Il s'agit là d'un concept important pour tous ceux qui veulent promouvoir le développement durable à l'étranger.

5.2 ACTIONS ENTREPRISES JUSQU'ICI

Le Fonds canadien de développement pour les changements climatiques (FCDCC) a été créé en 2000 pour aider les pays en développement à relever le défi du changement climatique. Son but était de promouvoir les activités portant sur les causes et les effets du changement climatique dans les pays en développement, tout en contribuant à réduire la pauvreté et à promouvoir le développement durable. Il s'agissait d'une initiative de six ans dotée d'un budget de 110 millions de dollars et gérée par l'Agence canadienne de développement international (ACDI). Le FCDCC était axé sur quatre thèmes, l'un portant spécifiquement sur la réduction de la vulnérabilité des pays en développement aux effets néfastes du changement climatique. À mesure que le programme a pris de l'ampleur, l'accent a été mis sur l'adaptation, sous la forme de contributions dirigées vers des fonds d'adaptation internationaux et vers la Fédération internationale des Sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge. Des projets ont été menés, entre autres, dans les Caraïbes, dans le sud-ouest du Pacifique, en Indonésie et au Nigeria. En outre, le Centre de recherches pour le développement international du Canada collabore avec le Department for International Development du Royaume-Uni à un programme d'adaptation au changement climatique de 65 millions de dollars en Afrique, en menant des activités de recherche et en veillant au renforcement des capacités.

Seul un effort international peut assurer la base scientifique permettant d'obtenir de meilleures projections du changement climatique susceptibles d'étayer les études en matière d'impacts et d'adaptation. Lors des discussions dans le cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, ou CCNUCC, on a examiné des approches coordonnées et intégrées à la recherche scientifique et à l'observation systématique, à des fins tant d'adaptation que d'atténuation. Le programme de Nairobi portant sur les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation au changement climatique constitue une importante nouvelle initiative aux termes de la CCNUCC conçue dans le but d'aider les pays à prendre des décisions éclairées en matière de mesures d'adaptation pratiques (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, 2007). Le Canada participe depuis longtemps à de nombreuses grandes initiatives internationales portant sur le changement environnemental à l'échelle planétaire, notamment le World Climate Research Programme (WCRP) l'International Geosphere-Biosphere Programme (IGCP) et l'International Human Dimensions Programme (IHDP).

L'Inter-American Institute for Global Change Research, ou IAI, est une organisation intergouvernementale appuyée par 19 pays de l'hémisphère Ouest, dont le Canada. Il a pour mission de développer la capacité qui permettra de mieux faire comprendre l'impact intégré des changements actuels et à venir d'ordre planétaire sur les milieux régionaux et continentaux, et de promouvoir la poursuite de recherches à caractère collaboratif et l'adoption d'actions éclairées à tous les niveaux. L'objectif premier du programme scientifique de l'IAI est d'encourager les recherches menées au-delà de la portée des programmes nationaux, en favorisant les études comparatives et ciblées basées sur les questions scientifiques d'importance pour la région tout entière, dont l'adaptation au changement climatique (Fenech *et al.*, 2005).

Le système d'analyse, de recherche et de formation (SysTem for Analysis, Research and Training, ou START) sur le changement planétaire, coparrainé par le IGBP, le WCRP et l'IHDP, assure un cadre international de renforcement des capacités. Il s'agit d'une organisation non gouvernementale à but non lucratif qui établit et entretient des réseaux régionaux de scientifiques et d'institutions collaborateurs dans les pays en développement. Ces réseaux mènent des recherches sur les aspects régionaux du changement environnemental, évaluent les impacts et les vulnérabilités liés à ce changement, et fournissent de l'information aux décideurs. L'organisation vise à accroître, dans les pays en développement, la capacité scientifique qui leur permettra de s'attaquer aux processus complexes du changement et de la dégradation de l'environnement à l'aide d'un grand choix de programmes de formation et de perfectionnement. De plus, elle mobilise des ressources en vue d'appuyer l'infrastructure et les programmes de recherche sur le changement environnemental dans les régions en développement.

Des Canadiens ont joué un rôle actif dans les évaluations internationales des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation par leur participation au Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat et à l'Arctic Climate Impact Assessment. Pour ce qui est des incidences mondiales du changement climatique sur la santé, Santé Canada a collaboré activement avec l'Organisation mondiale de la Santé, le Programme des Nations Unies pour l'environnement et l'Organisation météorologique mondiale (p. ex., Kovats *et al.*, 2003).

6 SYNTHÈSE

L'analyse ci-dessus (sections 1 à 5) a permis de tirer certaines conclusions d'intérêt pour les décisions en matière de politiques, de programmes ou d'investissement prises par le Canada en réponse à l'évolution du climat à l'étranger, telle qu'on la constate et qu'on peut la prévoir. Nombre de ces conclusions sont énoncées dans le texte et résumées dans la section intitulée « Principales conclusions ».

- Les conflits liés aux ressources et, en particulier, à l'eau seront aggravés dans certaines régions du monde; l'élévation du niveau de la mer et l'augmentation des catastrophes naturelles obligeront beaucoup de gens à déménager, que ce soit dans leur propre pays ou à l'étranger, entraînant des conséquences sur les politiques et les activités du Canada en matière d'aide, de maintien de la paix et d'immigration.
- Les risques associés à de nombreuses maladies sensibles au climat vont probablement augmenter; il faudra ainsi continuer à faire preuve de vigilance face à l'augmentation de ces risques pour les Canadiens.
- La réduction de la couverture de la glace de mer dans l'Arctique, qui se réchauffe, permettra une croissance du trafic maritime et des activités d'exploitation de nombreux pays, et fera naître des défis pour la protection de l'environnement et le contrôle exercés par le Canada. La faune circumpolaire et les modes de vie autochtones sont eux aussi menacés par la perte de la glace de mer et la fonte du pergélisol (*voir* le chapitre 3).
- L'intensification des épisodes de smog avec des vagues de chaleur plus longues et plus prononcées mène à une augmentation des problèmes de santé causés par les émissions de précurseurs de l'ozone et de particules fines aux États-Unis et au Canada. Afin de réduire ces risques pour la santé, il incombera aux deux pays de voir à réduire encore plus les émissions de précurseurs.
- Avec le changement du climat, les prix mondiaux des produits du bois pourraient chuter, et certaines occasions pourraient se présenter d'augmenter les exportations de produits agricoles (céréales, maïs) et de réduire les importations (fruits et légumes).
- On prévoit un accroissement du tourisme de saison chaude au Canada; cependant, nombre d'activités hivernales nécessiteront d'importantes mesures d'adaptation concernant les installations pour rester viables. Les déplacements de Canadiens vers des destinations plus chaudes pourraient diminuer. Des programmes de promotion du tourisme pourraient aider à en tirer des avantages économiques et sociaux.
- Quand les ententes entre le Canada et les États-Unis concernant les eaux frontalières et transfrontalières ont été élaborées, l'évolution du climat n'a pas été prise en considération; les intérêts à venir du Canada pourraient donc ne pas être adéquatement protégés dans certains accords concernant le partage de l'eau et la qualité de l'eau.
- L'augmentation de l'aridité dans le sud-ouest de l'Amérique du Nord fera en sorte que le Canada se trouvera de plus en plus sollicité pour fournir des exportations massives d'eau, ce qui aura des conséquences en ce qui concerne le commerce et les politiques touchant les eaux transfrontalières, notamment celles traitant de la protection des eaux canadiennes.
- L'augmentation de la charge de climatisation et une réduction probable de l'approvisionnement en hydroélectricité dans certaines régions du Canada et aux États-Unis auront des conséquences majeures pour la planification énergétique au Canada et pour les ententes d'exportation d'énergie.
- Les pertes imputables à des catastrophes d'ordre météorologique croissent rapidement dans le monde entier, en partie à cause de l'augmentation de la fréquence des phénomènes extrêmes, ce qui exigera d'améliorer l'aide en matière de capacité d'intervention en cas de catastrophes, et de gestion de ces dernières, surtout dans les pays en développement.
- Bien qu'on ait déjà déterminé certains des effets qu'auront sur les pêches les changements climatiques et océaniques, on ne dispose que de données et d'une compréhension limitées sur les changements qu'ils entraîneront dans la répartition et l'abondance du poisson que régissent les changements de nature climatique et océanique. Il s'agit là d'une importante lacune sur le plan des connaissances qu'il faudra combler à l'aide d'activités de surveillance et de recherche.
- On observe une croissance du besoin de programmes d'aide internationale en vue de l'adaptation au changement climatique dans les pays en développement. La gamme de questions en matière d'adaptation dont il faudra traiter est vaste et comprend la façon de se préparer en vue de catastrophes naturelles, de pénuries d'eau et de nourriture, et de problèmes d'ordre sanitaire, ainsi que la façon de faire face à ces mêmes problèmes.
- Des programmes internationaux en sciences naturelles et sociales (dont l'économie) et des évaluations de la recherche et des connaissances scientifiques sur le changement climatique viennent étayer les réactions du Canada en matière de politiques et de programmes. La participation active d'experts canadiens à ces activités constitue non seulement une contribution internationale, mais permet également d'intégrer aux politiques du Canada des connaissances scientifiques récentes d'ordre planétaire.

RÉFÉRENCES

Aarluk Consulting Inc., Gartner Lee Limited et C. Anderson. *Strategic plan for the Iqaluit deepwater port project*, rapport rédigé pour la ville d'Iqaluit, août, 2005, 95 p., <http://www.city.iqaluit.katittut.ca/i18n/english/pdf/portproject.pdf>, [consultation : 15 février 2007].

Ackermann, A. « The Idea and Practice of Conflict Prevention », *Journal of Peace Research*, vol. 40, n° 3, 2003, pp. 339-347.

Adger, N., P. Aggarwal, S. Agrawala, J. Alcamo, A. Allai, O. Anisimov, N. Arnell, M. Boko, O. Canziani, T. Carter, G. Casassa, U. Confalonieri, R.V. Cruz, E. de Alba Alcaraz, W. Easterling, C. Field, A. Fischlin, B.B. Fitzharris, C.G. García, H. Harasawa, K. Hennessy, S. Huq, R. Jones, L. Kajfe_ Bogataj, D. Karoly, R. Klein, Z. Kundzewicz, M. Lal, R. Lasco, G. Love, X. Lu, G. Magrin, L.J. Mata, B. Menne, G. Midgley, N. Mimura, M.Q. Mirza, J. Moreno, L. Mortsch, I. Niang-Diop, R. Nicholls, B. Nováky, L. Nurse, A. Nyong, M. Oppenheimer, J. Palutikof, M. Parry, A. Patwardhan, P.R. Lankao, C. Rosenzweig, S. Schneider, S. Semenov, J. Smith, J. Stone, J.-P. van Ypersele, D. Vaughn, C. Vogel, T. Wilbanks, P.P. Wong, S. Wu et G. Yohe. : « Technical Summary »; dans *Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni 2007, pp. 717-743.

Affaires étrangères et Commerce international Canada. *Statistiques sur l'économie, le commerce et l'investissement*, Affaires étrangères et Commerce international Canada, 2006, <http://www.international.gc.ca/eet/economic-indicat-fr.asp>, [consultation : 21 juin 2007].

Affaires indiennes et du Nord Canada. *Canadian Arctic contaminants assessment report*, Affaires indiennes et du Nord Canada, 1997, 454 p.

Agnew, M. D. et J. P. Palutikof. « Climate Impacts on the Demand for Tourism », dans *Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation*, International Society of Biometeorology, 2001, pp. 41-50.

Agriculture et Agroalimentaire Canada. « Profil du secteur canadien du blé », *Le Bulletin Bimensuel*, vol. 17, n° 11, 2004, 8 p. < http://www.agr.gc.ca/mad-dam/pubs/bi/pdf/bulletin_17_11_2004-07-05_f.pdf>, [consultation : 28 juin 2007].

Agriculture et Agroalimentaire Canada. *Vue d'ensemble du secteur agricole et agroalimentaire canadien*, Agriculture et Agroalimentaire Canada., 2005, <http://www.agr.gc.ca/cb/apf/index_f.php?section=info&group=ref&page=bg_con_overvu>, [consultation : 10 mai, 2007].

Alberta Sustainable Resource Development. *Beetle Bulletin: Mountain pine beetle activities in Alberta*; Alberta Sustainable Resource Development, Mountain Pine Beetle Program, 12 avril, 2007, 4 p., <http://srd.alberta.ca/forests/pdf/Beetle%20Bulletin%20-%20April.pdf>, [consultation : 30 mai, 2007].

Alexander, L.V., X. Zhang, T.C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A.M.G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, R. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D.B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci et J.L. Land Vazquez. « Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation », *Journal of Geophysical Research*, vol. 111, n°. 5, 2006, 5, DO5109, doi:10.1029/2005JD006290.

Amato, A. D., R. Matthias., P. Kirshen et J. Horwitz. « Regional energy demand responses to climate change: methodology and application to the Commonwealth of Massachusetts », *Climatic Change*, vol. 71, n° 1-2, 2005, pp. 175-201.

Amelung, B. et D. Viner. « Mediterranean tourism: exploring the future with the Tourism Climatic Index », *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 14, n° 4, 2006, pp. 349-366.

Arctic Climate Impact Assessment. Impacts of a warming Arctic; Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2004, 140 p.

Arctic Monitoring and Assessment Program. *Arctic Pollution, 2002*, AMAP Secretariat, Oslo, Norvège, 2002, 112 p.

Arctic Monitoring and Assessment Program. *Assessment 2002 (2003) Human health in the Arctic*, Arctic Monitoring and Assessment Program Secretariat, Oslo, Norvège, 2003, 137 p.

Bacchler, G. « Why environmental transformation causes violence: a synthesis », *Environmental Change and Security Project Report*, vol. 4, printemps, 1998, pp. 24-44.

Barange, M., F. Werner, I, Perry et M. Fogarty. « The tangled web: global fishing, global climate, and fish stock fluctuations », *Global Change Newsletter*, vol. 56, 2003, pp. 24-27.

Barnett, J. et W. N. Adger. « Climate dangers and atoll countries », *Climatic Change*, vol. 61, n° 3, 2003, pp. 321-337.

Barnett, T.P., J.C. Adam et D.P. Lettenmaier. « Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions »; *Nature*, vol. 438, n° 7066, 2005, pp. 303-309.

Barnett, T.P., D.W. Pierce et R. Schnur. « Detection of anthropogenic climate change in the world's oceans », *Science*, vol. 292, n° 5515, 2001, pp. 270-274.

Beamish, R.J., D.J. Noales, G.A. McFarlane, L. Klyashtorin, V.V. Ivanov. et V. Kurashov. « The regime concept and natural trends in the production of Pacific salmon », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 56, n° 3, 1999, pp. 516-526.

Berger, A. et M.F. Loutre. « An exceptionally long interglacial ahead? », *Science*, vol. 297, n° 5585, 2002, pp. 1287-1288.

Berner, J., C. Furgal, P. Bjerregaard, M. Bradley, T. Curtis, E. De Fabo, J. Hassi, W. Keatinge, S. Kvernmo, S. Nayha, H. Rintamaki et J. Warren. « Human health »; dans *Arctic Climate Impact Assessment*; Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 863-906.

Bhartendu, S. et S. J. Cohen. « Impact of CO_2-induced Climate Change on Residential Heating and Cooling Energy Requirements in Ontario, Canada », *Energy and Buildings*, vol. 10, n° 2, 1987, pp. 99-108.

Black, R. *Environmental refugees: myth or reality?*, Working Paper No. 34, University of Sussex, Brighton, Royaume-Uni, mars, 2001, 20 p., <http://unhcr.org/research/RESEARCH/3ae6a0d00.pdf>, [consultation : 28 juin 2007].

Brander, K.M. « Cod recruitment is strongly affected by climate when stock biomass is low », *ICES Journal of Marine Science*, vol. 62, n° 3, 2005, pp. 339-343.

Brooks, N. *Drought in the African Sahel: long-term perspectives and future prospects*, Working Paper 61, Tyndall Centre for Climate Change Research, Université d'East Anglia, Norwich, Royaume-Uni, octobre, 2004, 37 p.

Brown, T.J., B.L. Hall et A.L. Westerling. « The impact of twenty-first century climate change on wildland fire danger in the western United States: an applications perspective », *Climatic Change*, vol. 62, n° 1-3, 2004, pp. 365-388.

Bruce, J.P. « Oil and water - will they mix in a changing climate? The Athabasca River story »; dans *Implications of a 2° global temperature rise on Canada's water resources*; rapport rédigé pour le Sage Centre, 2006, pp. 12-25, <http://www.sagecentre.org/sage/sagereport.pdf>, [consultation : 10 mai 2007].

Bruce, J.P., W.T. Dickinson et D. Lean. *Planning for Extremes. Soil and Water Conservation Society*, Ontario, 2006, 70 p, <http://www.swcs.org/documents/Planning_for_Extremes.pdf>, [consultation : 25 juin 2007].

Bruce, J.P., H. Martin, P. Colucci, G. McBean, J. McDougall, D. Shrubsole, J. Whalley, R. Halliday, M. Alden, L. Mortsch et B. Mills. *Climate change impacts on boundary and transboundary water management*, Ressources naturelles Canada, Fonds d'action pour le changement climatique, Projet A458/402, 2003, 161 p., <http://www.saskriverbasin.ca/Resources/Climatechangestudy/Final%20Report%20A458-402%20CCAF.pdf >, [consultation : 10 mai 2007].

Caires, S., V.R. Swail et X.L. Wang. « Projection and analysis of extreme wave climate »; *Journal of Climate*, vol. 19, n° 21, 2006, pp. 5581-5605.

Campbell-Lendrum, D., A Parias-Ustun et C. Corvalan. « How much disease could climate change cause? », dans *Climate Change and Health Risks*, Organisation mondiale de la santé, Genève, Suisse, 2003, pp. 133-158.

Carroll, A.L., S.W. Taylor, J. Régnière et L. Safranyik. « Effects of climate change on range expansion by the mountain pine beetle in British Columbia », dans *Mountain Pine Beetle Symposium: Challenges and Solutions*, T.L. Shore, J.E. Brooks et J.E. Stone (éd.), Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique, rapport d'information BC-X-399, 30-31 octobre 2003, Kelowna (Colombie-Britannique), 2004, pp. 223-232.

Castles, S. et M. J. Miller. *The Age of Migration: International Population Movements in the Modern World*. The Guildford Press, New York, New York, 1993, 306 p.

Charnovitz, S. « Trade and climate: potential conflicts and synergies », dans *Beyond Kyoto: Advancing the International Effort Against Climate Change*, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginie, 2003, pp. 141-170.

Charron, A. « Le passage du nord-ouest », *Revue militaire canadienne*, vol. 6, n° 4, 2005, pp. 41-48, <http://www.journal.forces.gc.ca/engraph/Vol6/no4/PDF/06-North3_e.pdf>, [consultation : 26 juin 2007].

Chen, T.-C, S.-Y. Wang, W.-R. Huang et C.-H. Yen. « Variation of the East Asian summer monsoon rainfall », *Journal of Climate*, vol. 17, n° 4, 2004, pp. 744-762.

Cheng, C.S., H. Auld, G. Li, J. Klaassen et Q. Li. *Differential and combined impacts of winter and summer weather and air pollution due to global warming on human mortality in South Central Canada*, Santé Canada, Programme de recherches sur les politiques en matière de santé, 2001 Projet 6795-15-2001, 2005, 233 p.

Christensen, N. S., A. W. Wood, N. Voisin, D. P. Lettenmaier et R. N. Palmer. « The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River », *Climatic Change*, vol. 62, n° 1-3, 2004, pp. 337-363.

Citoyenneté et Immigration Canada. *Faits et chiffres : aperçu de l'immigration - Résidents permanents et temporaires*, Direction générale de la recherche et de l'évaluation, Citoyenneté et Immigration Canada, Ottawa, 2006, 122 p.

Cohen, S.J., R. Del oe, A. Hamlet, R. Harrington, L. Mortsch et D.Shrubsole. « Menaces intégrées et cumulatives pour la disponibilité de l'eau », dans *Menaces pour la disponibilité de l'eau au Canada*, Institut national de recherches sur les eaux, Environnement Canada, Burlington, Ontario, 2004, pp. 117-127.

Cohen, S.J., K.A. Millar, A.V. Hamlet et W. Avis. « Climate change and resource management in the Columbia River Basin », *Water International*, vol. 25, n° 2, 2000, pp. 253-272.

Colombo, A.F., D. Etkin et B. W. Karney. « Climate variability and the frequency of extreme temperature events for nine sites across Canada: implications for power usage », *Journal of Climate*, vol. 12, n° 8, 1999, pp. 2490-2502.

Comité Canada-États-Unis sur la qualité de l'air. *Rapport d'étape 2006*, Commission mixte internationale, Ottawa (Ontario), 2006, 86 p., <http://www.ec.gc.ca/cleanair-airpur/caol/canus/report/2006canus/toc_f.cfm>, [consultation : 15 février 2007].

Commission canadienne du tourisme. *Faits et chiffres sur le tourisme canadien 2004*, Commission canadienne du tourisme, 2005, 1 p., <http://www.corporate.canada.travel/docs/research_and_statistics/stas_and_figures/F_F_Brochure2004_Fpdf>, [consultation : 15 février 2007].

Commission mixte internationale. *The IJC and the 21st century: response of the IJC to a request by the governments of Canada and the United States for proposals on how to best assist them to meet the environmental challenges of the 21st century*, Commission mixte internationale, 1997, 59 p.

Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs. *Climate change and water quality in the Great Lakes Basin*, rapport remis à la Commission mixte internationale, 2005, 213 p.

Considine, T. J. « The impacts of weather variations on energy demand and carbon emissions », *Resource and Energy Economics*, vol. 22, n° 4, 2000, pp. 295-314.

Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Background paper on share of proceeds to assist in meeting the costs of adaptation, atelier de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques portant sur le Fonds d'adaptation, du 3 au 5 mai 2006, Edmonton (Alberta), 2006, <http://unfccc.int/meetings/workshops/other_meetings/items/3672.php>, [consultation : 10 mai 2007].

Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. The Nairobi work program on impacts, vulnerability and adaptation to climate change, Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, 2007, 6 p., <http://unfccc.int/files/adaptation/sbsta_agenda_item_adaptation/application/pdf/background_on_nwp_v.2.pdf>, [consultation : 17 mai 2007].

Corti, S., F. Molteni et T.N. Palmer. « Signature of recent climate change in frequencies of natural atmospheric circulation regimes »: *Nature*, vol. 398, n° 6730, 1999, pp. 799-802.

Cosbey, A., L. Assunçao, et S. Saba. *Implications, including for development, of the interface between environment and trade policies for oil exporting countries*, United Nations conference on Trade and Development (UNCTAD), Genève, Suisse, 2003, 85 p.

Cragg, M. et M. Kahn. « New estimates of climate demand: evidence from location choice », *Journal of Urban Economics*, vol. 42, n° 2, 1997, pp. 261-284.

Dai, A.K., E. Trenberth et T. Qion. « A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002, *Journal of Hydrometeorology*, vol. 5, n° 6, 2004, pp. 1117-1130.

Deane, G. et M.P. Gutmann. « Blowin' down the road: investigating bilateral causality between dust storms and population in the Great Plains », *Population Research and Policy Review*, vol. 22, n° 2, 2003, pp. 297-331.

de Freitas, C., D. Scott et G. McBoyle. « A new generation climate index for tourism and recreation », dans *Advances in Tourism Climatology*, A. Matzarakis, C. de Freitas et D. Scott (éd.), Berichte des Meteorologischen Institutes der Universitat, Freiburg, Allemagne, 2004, pp. 19-26.

Déry, S.J., M. Steiglitz, E.E. McKenna et E.F. Wood. « Characteristics and trends of river discharge into Hudson, James and Ungava Bays, 1964-2000 », *Journal of Climate*, vol, 18, n° 14, 2005, pp. 2540-2557.

Dewailley, E. et C. Furgal. « POPs, the environment and public health », dans *Northern Lights Against POPs: Combatting Toxic Threats in the Arctic*, D. Downie et T. Fenge (éd.), McGill-Queen's University Press, Montréal (Québec) et Kingston (Ontario), 2003, pp. 3-21.

Drinkwater, K.F. « A review of the role of climate variability in the decline of the northern cod », *American Fisheries Society Symposium*, vol 32, 2002, pp.113-130.

Drinkwater, K.F. « The response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to future climate change », *ICES Journal of Marine Science*, vol. 62, n° 7, 2005, pp. 1327-1337.

Duckworth, B. « Australian drought alters auction business »; *The Western Producer*, 6 juin, 2007, < http://www.producer.com/free/editorial/news.php?iss=2007-06-14&sec=news&sto=60>, [consultation : 3 juillet 2007].

Dumas, J.A., G.M. Flato et R.D. Brown. « Future projections on landfast ice thickness and duration of the Canadian Arctic », *Journal of Climate*, vol. 19, n° 20, 2006, pp. 5175-5189.

Easterling, W., P. Aggarwal, P. Batima, K. Brander, L. Erda, M. Howden, A. Kirilenko, J. Morton, J.F. Soussana, J. Schmidhuber et F. Tubiello. « Food, fibre and forest products », chapitre 5 dans *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du groupe d,experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press , Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007.

Edwards, A. G. « Global warming from an energy perspective », chapitre 8 dans *Global Climate Change and California: Potential Impacts and responses*, J. B. Knox et A. Foley Scheuring (éd.), University of California Press, Berkeley, Californie, 1991, pp. 150-159.

El-Hinnawi, E. Environmental Refugees, *Programme pour l'environnement des Nations Unies*, Nairobi, Kenya, 1985, 41 p.

Emmanuel, K. « Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years », *Nature*, vol. 436, n° 4, 2005, pp.686-688.

Energy Information Administration. *Annual Energy Outlook 2006 with Projections to 2030*, Department of Energy, Energy Information Administration, DOE/EIA-0383(2006), Washington, D.C., 2006, 12 p.

Faust, E. « Ocean temperatures and cyclone intensities worldwide »; dans *Georisks: Changing Hurricane Risk*; rapport rédigé pour le Munich Reinsurance Group, Munich, Allemagne, 2006, 11 p., <http://www.munichre.com/app_resources/pdf/ts/geo_risks/changing_hurricane_risk2_en.pdf>, [consultation : 10 mai 2007].

Fédération internationale des Sociétés de la Croix-Rouge et du Croissant-Rouge. *World disasters report - focus on community resilience*, Kumarian Press Inc., Bloomfield, Connecticut, 2004, <http://www.ifrc.org/publicat/wdr2004/index.asp>, [consultation : 25 juin 2007].

Fenech, A., M. Murphy, D. MacIver, H. Auld et R. Bing Rong. *The Americas: building the adaptive capacity to global environmental change*, Environnement Canada, Service météorologique, Groupe AIR, Publication hors-série n° 5, 2005, 20 p.

Findlay, B.F. et L. Spicer. « Impact of climatic warming on residential consumption of natural gas in Canada », *Climatological Bulletin*, vol. 22, n° 2, 1988, pp. 3-13.

Fischer, G., M. Shah et H. van Velthuizen. Climate change and agricultural vulnerability, International Institute for Applied Systems Analysis, Vienne, Autriche, 2002, 160 p., <http://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/JB-Report.pdf>, [consultation : 25 juin 2007].

Flannigan, M., I. Campbell, M. Wotton, C. Carcaillet, P. Richard et Y. Bergeron. « Future fire in Canada's boreal forest: paleoecology results and general circulation model - regional climate model simulations », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 31, n° 5, 2001, pp. 854-864.

Flannigan, M.D., K.A. Logan, B.D. Amiro, W.R. Skinner et B.J. Stocks. « Future area burned in Canada »: *Climatic Change*, vol. 72, 2005, pp. 1-16.

Folland, C.K., T.R. Karl, J.R. Christy, R.A. Clarke, G.V. Gruza, J. Jouzel, M.E. Mann, J. Oerlemans, M.J. Salinger et S.-W. Wang. « Observed climate variability and change », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, contribution du Groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 99-181.

Frederick, K.D. et P. H. Gleick. *Water and global climate change: potential impacts on US water resources*, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginie, 1999, 48 p.

G8 Gleneagles. Communiqué - changements climatiques, énergie propre et développement durable; United Kingdom Foreign and Commonwealth Office, 2005, 32 p., <http://www.fco.gov.uk/Files/kfile/FR-%20decl%20climat-7%20juillet.doc>, [consultation : 25 juin 2007].

Gillett, N.P. et A.J. Weaver. « Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires », *Geophysical Research Letters*, vol. 31, no 18, (L18211), 2004, pp. 1-4.

Gleick, P.H. « Environment, resources and international security and politics », dans *Science and International Security: Responding to a Changing World*, E.H. Arnett (éd.), American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C., 1990, pp. 501-523.

Gleick, P.H. et E.L. Chalecki. « The impacts of climate changes for water resources of the Colorado and Sacramento-San Joaquin River basins »; *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 35, n° 6, 1999, pp. 1429-1441.

Global Environment Facility. *Status report on the climate change funds*; Global Environment Facility, GEF/C.28/4/Rev.1, 2006, 34 p., <http://www.gefweb.org/Documents/Council_Documents/GEF_C28/documents/C.28.4.Rev.1ClimateChange.pdf>, [consultation : 21 mai 2007].

Gossling, S. et C.M. Hall. « Uncertainties in predicting tourist flows under scenarios of climate change », *Climate Change*, vol. 70, n° 3-4, 2006, pp. 163-173.

Groisman, P.Y., R.W. Knight, D.R. Easterling, T.R. Karl, G.C. Hegerl et V.N. Razuvaev. « Trends in intense precipitation in the climate record », *Journal of Climate*, vol. 18, n° 9, 2005, pp. 1326-51.

Groupe d'experts intergouvernemental sur le changement climatique. *Equity and social considerations related to climate change*, compte-rendu de l'atelier du Groupe de travail III, Nairobi, Kenya, ICIPE Science Press, 1994, 441 p.

Groupe d'experts intergouvernemental sur le changement climatique. « Résumé à l'intention des décideurs », dans *Bilan 2001 des changements climatiques : les éléments scientifiques*, contribution du Groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (New York), 2001a, pp. 1-20, <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>, [consultation : 6 mai 2007].

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Résumé à l'intention des décideurs », dans *Bilan 2001 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité*, contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001b, 1032 p., <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>, [consultation : 6 mai 2007].

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Changement climatique 2001. Rapport de synthèse, contribution des Groupes de travail I, II et III au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur

l'évolution du climat, R.T. Watson et l'équipe de rédaction principale, (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001c, 397 p., <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>, [consultation : 6 mai 2007].Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for Policymakers », dans *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignot et H.L. Miller (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007a, pp. 1-18, <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>, [consultation : 6 mai 2007].

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. «Summary for Policymakers », dans *Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (éd.) Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New, 2007b, pp. 7-22, <http://www.ipcc.ch/SPM6avr07.pdf>, [consultation : 6 mai 2007].

Gruber, A. et V. Levizzani. « Assessment shows no trend in global precipitation »; *GEWEX News*, vol. 16, n° 4, 2006, pp. 6-8.

Gulev, S.K. et V. Grigorieva. « Last century changes in ocean wind-wave heights from global visual wave data », *Geophysical Research Letters*, vol. 31, n° 24, (L24302), 2004, pp. 1-4.

Gulev, S.K. et L. Hasse. « Changes in wind waves in the North Atlantic over the last 30 years », *International Journal of Climatology*, vol. 19, n° 10, 1999, pp. 1091-1117.

Hamilton, J. M., D. J. Maddison et R. S.J. Tol. « Climate change and international tourism: A simulation study », *Global Environmental Change*, vol. 15, n° 3, 2005, pp. 253-266.

Handmer, J.A. « Adaptive capacity: what does it mean in the context of natural hazards? », dans *Climate Change, Adaptive Capacity and Development*, J.B. Smith, R.J.T. Klein et S. Huq (éd.), Imperial College Press, Londres, Royaume-Uni, 2003, pp. 51-70.

Harley, C.D.G., R.A. Hughes, K.M. Hultgren, B.G. Miner, C.J.B. Sorte, C.S. Thornber, L.F. Rodriguez, L. Tomanek et S.L. Williams. « The impacts of climate change in coastal marine systems », *Ecology Letters*, vol. 9, n° 2, 2006, pp. 228-241.

Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés. *The state of the world's refugees: the challenge of protection*, Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés, Genève, Suisse, 1993, <http://www.unhcr.org/publ/3ef964df4.html>, [consultation : 3 juillet 2007].

Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés. *Convention and protocol relating to the status of refugees*, Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés, Genève, Suisse, 2006, <http://www.unhcr.org/protect/PROTECTION/3b66c2aa10.pdf>, [consultation : 3 juillet 2007].

Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés. *2004 global refugee trends*, Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés, Genève, Suisse, 2005, 91 p., <http://www.unhcr.org/statistics/STATISTICS/42b283744.pdf>, [consultation : 3 juillet 2007].

Hogg, E.H., J.P. Brandt et B. Kochtubajda. « Growth and dieback of aspen forests in northwestern Alberta, Canada, in relation to climate and insects », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 32, n° 5, 2002, pp. 823-832.

Homer-Dixon, T. « On the threshold: environmental change as causes of acute conflict », *International Security*, vol. 16, n° 2, 1991, pp. 76-116.

Hulme, M. *Abrupt climate change: can society cope?*, Tyndall Centre for Climate Change Research, Université d'East Anglia, Norwich, Royaume-Uni, Working Paper n°. 30, mars, 2003, 23 p.

Human Security Centre. *Human Security Report 2005: War and Peace in the 21st Century*: Oxford University Press, New York, New York, 2005, 170 p.

Independent Electricity System Operator. « The Ontario reliability outlook », *Independent Electricity System Operator*, Toronto, Ontario, vol. 1, n° 2, 2006, 24 pp., <http://www.ieso.ca/imoweb/pubs/marketReports/ORO_Report-2006-1-2.pdf>, [consultation : 10 mai 2007].

Industrie Canada. *Données sur le commerce en direct*, Industrie Canada, 2006, <http://strategis.gc.ca/sc_mrkti/tdst/frndoc/tr_homep.html>, [consultation : 25 juin 2007].

International Strategy for Disaster Reduction. « The 2004 hurricane season in the Caribbean caused losses that exceeded $2.1 billion », *Newsletter ISDR Inform*, n° 10, 2005a, <http://www.eird.org/eng/revista/No10_2005/art9.htm>, [consultation : 17 mai 2007].

International Strategy for Disaster Reduction (2005b): « Hyogo declaration Kobe, Hyogo, Japan 18-22 January 2005 », *Newsletter ISDR Inform*, n° 10, 2005b, <http://www.eird.org/eng/revista/No10_2005/art3.htm>, [consultation : 17 mai 2007].

International Union for Conservation of Nature. « Livelihoods and climate change », *Information Paper*, n° 3, décembre, 2003, 4 p.

Irland, L., D. Adams, R. Alig, C.J. Betz, C. Chen, M. Hutchins, B. A. McCarl, K. Skog et B.L. Sohngen. « Assessing socioeconomic impacts of climate change on U.S. forest, wood-product markets, and forest recreation », *Bioscience*, vol. 51, n° 9, 2001, pp. 753-764.

Jacobson, J. *Environmental refugees: a yardstick of habitability*, Worldwatch Institute, Worldwatch Paper 86, Washington, D.C., 1988, 46 p.

Johannessen, O.M., L. Bengtsson, M.W. Miles, S.I. W., Kuzmina, V.A. Semenov, G.V. Alekseev, A.P. Nagurnyi, V.F. Zakharov, L.P. Bobylev, L.H. Pettersson, K. Hasselmann et H.P. Cattle. « Arctic climate change: observed and modeled temperature and sea-ice variability », *Tellus*, vol. 56A, 2004, pp. 328-341.

Jones, B. et D. Scott. « Climate change, seasonality and visitation to Canada's national parks », *Journal of Parks and Recreation Administration*, vol. 24, n° 2, 2006, pp. 42-62.

Judek, S., B. Jessiman, D. Stieb et R. Vet. *Estimation de la surmortalité causée par la pollution atmosphérique au Canada : résumés et résultats*, Santé Canada et Environnement Canada, août, 2004, 10 p.

Jurado-Molina J. et P. Livingston. « Climate-forcing effects on trophically linked groundfish populations: implications for fisheries management », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 59, n° 12, 2002, pp. 1941-1951.

Kaser, G., J.G. Cogley, M.B. Dyurgerov, M.F. Meier et A. Ohmura. « Mass balance of glaciers and ice caps: consensus estimates for 1961-2004 », *Geophysical Research Letters*, vol. 33, n°19 , (L19301), 2006, doi:10.1029/2006GL027511.

Kent, M.L. et T. T. Poppe. *Diseases of seawater netpen-reared salmonid fish*, Pêches et Océans Canada, Station biologique du Pacifique, Nanaimo, Colombie-Britannique, 1998, 137 p.

Klein, R.J.T., M. Alam, I. Burton, W.W. Dougherty, K.L. Ebi, M. Fernandes, A. Huber-Lee, A.A. Rahman et C. Swartz. *Application of environmentally sound technologies for adaptation to climate change*, Secrétariat de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, Publication technique FCCC/TP/2006/2, Bonn, Allemagne, 2006, 107 p.

Knutson, T.R. et R.E. Tuleya. « Impact of CO_2 induced warming on simulated hurricane intensity and precipitation: sensitivity to the choice of climate model and convective parameterization », *Journal of Climate*, vol. 17, no 18, 2004, p. 3477-3495.

Kovacs, P.JE. « Lessons from Katrina - preserving a civil society in the face of disaster », *Perception*, vol. 28, n° 1-2, 2005, pp 4-6.

Kovats, R.S. et Jendritzky. « Heat waves and human health », dans *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health*, B. Menne et K.L. Ebi (éd.), Springer-Verlag, Berlin, Allemagne, 2005, pp. 63-98.

Kovats R.S., K. Ebi et B. Menne. *Methods of assessing human health vulnerability and public health adaptation to climate change*: Organisation mondiale de la santé, Santé Canada, Programme pour l'environnement des Nations Unies et Organisation météorologique mondiale, Copenhagen, Danemark, Health and Global Environmental Change Series, n° 1, 2003, <http://www.euro.who.int/document/e81923.pdf>, [consultation : 28 juin 2007].

Lal, M., H. Harasawa, D. Murdiyarso, W.N. Adger, S. Adhikary, M. Ando, Y. Anokhin, R.V. Cruz, M. Ilvas, Z. Kopaliani, F. Lansigan, C. Li, A. Patwardhan, U. Safriel, H. Suharyono et X. Zhang. « Asia », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, contribution du Groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d,experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 533-590.

Lambert, S.J. « Intense extratropical Northern Hemisphere winter cyclone events: 1899-1991 », *Journal of Geophysical Research*, vol. 101, n° 16, 1996, pp. 21 319-21 325.

Lambert, S.J. et J.C. Fyfe. « Changes in winter cyclone frequencies and strengths simulated in enhanced greenhouse warming experiments: results from the models participating in the IPCC diagnostic exercise », *Climate Dynamics*, vol. 26, n° 7-8, 2006, pp. 713-728.

Leighton, M. Environmental Degradation and Migration: The U.S.-Mexico Case Study, *Global Environmental Change and Human Security Project Report 4*, 1998, pp. 61-67.

Lemmen, D.S. et F.J. Warren. *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne*, Gouvernement du Canada, 2004, 190 p.

Li, C., M.D. Flannigan et I.G.W. Corns. « Influence of potential climate change on forest landscape dynamics of west-central Alberta », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 30, n° 12, 2000, pp. 1905-1912.

Lise, W. et R.S.J. Tol. « Impact of climate on tourist demand », *Climatic Change*, vol. 55, n° 4, 2002, pp. 429-449.

Loftus, M. « Travel tactics for a changing world », *National Geographic Traveler*, 2005, pp. 16-20.

Lonergan, S. The role of environmental degradation and population displacement, *Global Environmental Change and Human Security Project Report 4*, 1998, pp. 5-15.

Macdonald, R. W., T. Harner, J. Fyfe, H. Loeng et T. Weingartner. *AMAP Assessment 2002: the influence of global change on contaminant pathways to, within, and from the Arctic*, Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo, Norvège, 2003, 65 p.

Maddison, D. « In search of warmer climates? The impact of climate change on flows of British tourists », *Climatic Change*, vol. 49, n° 1-2, 2001, pp. 193-208.

Magnusson, M. *Climate and trade rules: harmony or conflict?*, Kommerskollegium (Chambre de commerce nationale), Stockholm, Suède, 2004, 107 p.

Mansur, E., R.O. Mendelsohn et W. Morrison. *A discrete-continuous choice model of climate change impacts on energy*, School of Management, Yale University, New Haven, Connecticut, Working Paper 43, 2005.

Mark, B.G. et G.O. Seltzer. « Tropical glacial meltwater contribution to stream discharge: a case study in the Cordillera Blanca », Peru, *Journal of Glaciology*, vol. 49, n° 165, 2003, pp. 271-281.

McCabe, G.J., M.P. Clark et M.C. Serreze. « Trends in northern hemisphere surface cyclone frequency and intensity », *Journal of Climate*, vol. 14, n° 12, 2001, pp. 2763-2768.

McCarthy, J.J., M. Long Martello, R. Correll, N. Eckley Selin, S. Fox, G. Hovelsrud-Broda, S.D. Mathiesen, C. Polsky, H. Selin et N.J.C. Tyler. « Climate change in the context of multiple stressors and resilience », dans *Arctic Climate Impact Assessment*; Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 945-988.

McGranahan, G., D. Balk et B. Anderson. « Low coastal zone settlements », *Tiempo*, n° 59, 2006, pp. 23-26.

McGranahan, G., D. Balk et B. Anderson. « The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones », *Environment and Urbanization*, vol. 19, 2007, pp. 17-37.

McLean, R.F.,A. Tsyban, V. Burkett, J.O. Codignotto, D.L. Forbes, N. Mimura, R.J. Beamish et V. Ittekkot. « Coastal zones and marine ecosystems », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, contribution du Groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 533-590.

McLeman, R. et B. Smit. « Assessing the security implications of climate change-related migration, human security and climate change », atelier sur la sécurité humaine et le changement climatique, 21 au 23 juin, Asker, Norvège; Centre for International Climate and Environmental Research, Oslo, 20 p., <http://www.cicero.uio.no/humsec/papers/McLeman&Smit.pdf>, [consultation : 10 mai 2007].

Medlyn, B.E., R.E. McMurtie, R.C. Dewar et M.P. Jeffreys. « Soil processes dominate the long-term response of forest net primary productivity to increased temperature and atmospheric CO_2 concentration », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 30, n° 6, 2000, pp. 873-888.

Meehl, G.A. et C. Tebaldi. « More intense, more frequent and longer lasting heat waves in the 21st century », *Science*, vol 305, 2004, pp. 994-997.

Mercier, G. « Secteur de l'énergie », dans *Étude pan-canadienne sur la variabilité et le changement climatique*, Environnement Canada, Questions sectorielles, vol. 7, Ottawa, 1998, pp. 417-439.

Miller, K.A. « Pacific salmon fisheries: climate, information and adaptation in a conflict-ridden context », *Climatic Change*, vol. 45, n° 1, 2000, pp. 37-61.

Mills, E. « Insurance in a climate of change », *Science*, vol. 309, n° 12, 2005, pp. 1040-1044.

Morgan, G., J. Apt et L. Lave. *The U.S. electric power sector and climate change mitigation*, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginie, 2005, 95 p.

Mortsch, L., M Alden et J. D. Scheraga. *Climate change and water quality in the Great Lakes region*, Commission mixte internationale, rapport remis au Conseil de la qualité de l'eau, 2003, 135 p.

Mortsch, L., H. Hengeveld, M. Lister, B. Lofgren, F. Quinn, M. Slivitzky et L. Wenger. « Climate change impacts on the hydrology of the Great Lakes-St. Lawrence system », *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 25, n° 2, 2000, pp. 153-179.

Mote, P., A.F. Hamlet, M.P. Clark et D.P. Lettenmaier. « Declining mountain snowpack in western North America », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 86, n° 1, 2005, pp. 1175-1186.

Mote, P.W., E. Parson, A.F. Hamlet, W.S. Keeton, D. Lettenmaier, N. Mantua, E. Miles, D.W. Peterson, D.L. Peterson, R. Slaughter et A. Snover. « Preparing for climatic change: the water, salmon, and forests of the Pacific Northwest », *Climatic Change*, vol. 61, n° 1-2, 2003, pp. 45-88.

Muller, B. The Nairobi Climate Change Conference: a breakthrough for adaptation funding, Oxford Energy and Environment Comment, Oxford Institute for Energy Studies, 2007, 3 p., <http://www.oxfordenergy.org/pdfs/comment_0107-1.pdf>, [consultation : 25 juin 2007].

Munich Reinsurance. *Annual review: natural catastrophes 2005*, Knowledge Series, Munich, Allemagne, 2006, 56 p.

Myers, N. « Environmental refugees in a globally warmed world », *Bioscience*, vol. 43, n° 11, 1993, pp. 752-761.

Myers, N. « Environmental refugees: an emergent security issue », présentation faite lors du 13e Forum économique, Organisation pour la sécurité et la coopération en Europe, Prague, République tchèque, du 23 au 27 mai, 2005, 5 p., <http://www.osce.org/documents/eea/2005/05/14488_en.pdf>, [consultation : 25 juin 2007].

Myers, N. et J. Kent. Environmental exodus: an emergent crisis in the global arena, The Climate Institute, Washington, D.C., 1995, 214 p.

Mysak, L. A. *Variabilité et changement climatiques et les aménagements hydroélectriques dans le nord du Québec, Bureau de soutien de l'examen public du projet Grande Baleine*, Montréal, Évaluation environnementale du projet Grande Baleine, Dossier-synthèse n° 1, 1993, 98 p.

Nations Unies. *Rapport du Sommet mondial pour le développement durable*, Johannesburg, Afrique du Sud, du 26 août au 4 septembre 2002, Nations Unies, 2002, 176 p., <http://www.unmillenniumproject.org/documents/131302_wssd_report_reissued.pdf >, [consultation : 10 mai 2007].

Nemani, R.R., C.D. Keeling, H. Hashimoto, W.M. Jolly, S.C. Piper, C.J. Tucker, R.B. Myneni et S.W. Running. « Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982-1999 », *Science*, vol. 300, n° 5625, 2003, pp. 1560-1563.

New Zealand Immigration Service. *Bringing the family together*, New Zealand Immigration Service, 2005, <http://www.immigration.govt.nz/migrant/stream/live/>, [consultation : 15 février 2007].

Office national de l'énergie. *L'avenir énergétique au Canada : scénarios sur l'offre et la demande jusqu'à 2025*, Office national de l'énergie, Calgary (Alberta), 2003, 100 p.

Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture. *Water: a shared responsibility, The United Nations World Water Development Report 2*, 2006, 584 p.

Organisation météorologique mondiale. *Prévention des catastrophes naturelles et atténuation de leurs effets*, Organisation météorologique mondiale, no 993, Genève, Suisse, 2006, 34 p.

Parry, M., N. Arnell, T. McMichael, R. Nicholls, P. Martins, S. Kovats, M. Livermore, C. Rosenzweig, A. Iglesias et G. Fischer. « Millions at risk: defining critical climate change threats and targets », *Global Environmental Change*, vol. 11, n° 3, 2001, pp. 1-3.

Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof et coll. "technical Summary", dans Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2007, pp. 23-78.

Parry, M.L., M. Livermore, C. Rosenzweig, A. Iglesias et G. Fischer. « The impacts of climate change on food supply », dans *Climate Change and its Impacts: Stabilisation of CO_2 in the Atmosphere*, The Met Office, Bracknell, Royaume-Uni, 1999, 28 p.

Parry, M.L., C. Rosenzweig, A. Iglesias, M. Livermore et G. Fischer. « Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios », *Global Environmental Change*, vol 14, n° 1, 2004, pp. 53-67.

Patz, J. « Extreme precipitation linked to waterborne disease outbreaks », *Inter American Institute Newsletter*, vol. 26, 2001, pp. 15-16.

Patz, J.A., D. Campbell-Lendrum, T. Holloway et J.A. Foley. « Impact of regional climate change on human health », *Nature*, vol. 438, n° 7066, 2005, pp. 310-317.

Payne, J.T., A.W. Wood, A.F. Hamlet, R.N. Palmer, et D.P. Lettenmaier. « Mitigating the effects of climate change on the water resources of the Columbia Basin », *Climatic Change*, vol. 62, n° 1-3, 2004, pp. 233-256.

Pêches et Océans Canada. *Exportations intérieures de certaines marchandises par principaux marchés et pays*, Pêches et Océans Canada, Services statistiques, 2005, < http://www.dfompo.gc.ca/communic/statistics/trade/canadian_trade/export_data/xmkt06_f.htm >, [consultation : 28 juin 2007].

Peng, S., J. Huang, J.E. Sheehy, R.C. Laza, R.M. Visperas, X. Zhong, G.S. Centeno, G.S. Khush et K.G. Cassman. « Rice yields decline with higher night temperature from global warming », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 101, n° 27, 2004, pp. 9971-9975.

Pierce, D.W., T.P. Barnett, K.M. Achutq-Rao, P.J. Glockler, J.M Gregory, et W.M Washington. « Anthropogenic warming of the oceans: observations and model results », *Journal of Climate*, vol. 19, n° 10, 2006, pp. 1873-1900.

Programme des Nations Unies pour l'environnement. *Afrique : les conséquences des changements climatiques - cartes et graphiques essentiels*, Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2002, <http://www.grida.no/climate/vitalafrica/français/index.htm>, [consultation : 15 février 2007].

Pulwarty, R.S. « Transboundary river flow changes », dans *Handbook of Climate, Weather and Water: Atmospheric Chemistry, Hydrology and Societal Impacts*, T.D. Potter et B.R. Colman (éd.), John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, 2002, pp. 865-884.

Raban, R.R. « Climatic change and hydroelectric production », dans *Proceedings of the Symposium on the Impacts of Climatic Change and Variability on the Great Plains*, G. Wall (éd.), Occasional paper 12, University of Waterloo, Department of Geography Publication Series, Publication hors-série n° 12, Waterloo (Ontario), 1991, pp. 309-315.

Rayner, N.A., D.E. Parker, E.B. Horton, C.K. Folland, L.V. Alexander, D.P. Rowell, E.C. Kent et A Kaplan. « Global analyses of sea surface temperatures, sea ice, and night marine air temperatures since the late 19th century », *Journal of Geophysical Research*, vol. 108, n° 14, 2003, pp. ACL 2-1-ACL 2-29.

Reid, H. et M. Alam. « Millennium development goals », *Tiempo*, n° 54, 2005, pp. 18-22.

Ressources naturelles Canada. *Sensibilités aux changements climatiques au Canada, Programme sur les impacts et l'adaptation liés aux changements climatiques*, Ressources naturelles Canada, 2000, 29 p.

Ressources naturelles Canada. *L'état des forêts au Canada 1999-2000: nos forêts au nouveau millénaire*, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, 2001, 120 p.

Ressources naturelles Canada. *L'état des forêts au Canada 2004-2005: la forêt boréale*, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, 2005, 96 p.

Rignot, E. et P. Kanagaratnam. « Changes in the velocity structure of the Greenland Ice Sheet », *Science*, vol. 311, n° 576, 2006, pp. 986-990.

Rose, G.A. Reconciling overfishing and climate change with stock dynamics of Atlantic cod (*Gadus morhua*) over 500 years », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 61, n° 9, 2004, pp. 1553-1557.

Rose, G.A., B. de Young, D.W. Kulka, S.V. Goddard et G.L. Fletcher. « Distribution shifts and overfishing the northern cod (*Gadus morhua*): a view from the ocean », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 57, n° 3, 2000, pp. 644-663.

Rosenzweig, C. et A. Iglesias. *Potential impacts of climate change on world food supply: data sets from a major crop modeling study*, Socioeconomic Data and Applications Center, Columbia University, New York, New York, 1999, <http://sedac.ciesin.columbia.edu/giss_crop_study/index.html>, [consultation : 10 mai 2007].

Rosenzweig, C., F.N. Tubiello,b, R. Goldberg, E. Mills et J. Bloomfield. « Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change », *Global Environmental Change*, vol. 12, n° 3, 2002, pp. 197-202.

Rothwell, D. R. « The Canadian-US northwest passage dispute: a reassessment », *Cornell International Law Journal*, 1993, pp. 331-336.

Sailor, D.J. « Relating residential and commercial sector electricity loads to climate - evaluating state level sensitivities and vulnerabilities », *Energy*, vol. 26, nº 7, 2001, pp. 645-657.

Sailor, D. J. et R. Muñoz. « Sensitivity of electricity and natural gas consumption to climate in the U.S. - methodology and results for eight states », *Energy*, vol. 22, nº 10, 1997, pp. 987-998.

Salman, S. « International water disputes: Aanew breed of claims, claimants and settlement institutions », *Water International*, vol. 31, nº 1, 2006, pp. 2-11.

Schindler, D.W. et W.F. Donahue. « An impending water crisis in Canada's western Prairie Province », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 103, 2006, pp. 7210-7216.

Schindler, D.W., P.J. Curtis, B.R. Parker et M.P. Stainton. « Consequences of climate warming and lake acidification for UV-B penetration in North American boreal lakes », *Nature*, vol. 379, nº 6567, 1996, pp. 705-708.

Scott, D., G. McBoyle et M. Schwarzentruber. « Climate change and the distribution of climatic resources for tourism in North America », *Climate Research*, vol. 27, nº 2, 2004, pp. 105-117.

Scott, D., G. Wall et G. McBoyle. « The evolution of the climate change issue in the tourism sector », dans *Tourism, Recreation and Climate Change*, M. Hall et J. Higham (éd.), Channelview Press, Londres, Royaume-Uni, 2005, pp. 44-60.

Shugart, H., R. Sedjo et B. Sohngen. *Forests and global climate change: potential impacts on U.S. forest resources*, rapport rédigé pour le Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginie, 2003, 54 p.

Sigurdsson, B.D., P. Roberntz, M. Freeman, M. Næss, H. Saxe, H. Thorgeirsson et S. Linder. « Impact studies on Nordic forests: effects of elevated CO_2 and fertilization on gas exchange », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 32, nº 5, 2002, pp. 779-788.

Smit, B., O. Pilifosova, I. Burton, B. Challenger, S. Huq, R.J.T. Klein et G. Yohe. « Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 877-912.

Smith, T.M. et R.W. Reynolds. « A global merged land and sea surface temperature re-construction based on historical observations (1880-1997) », *Journal of Climate*, vol. 18, nº 12, 2005, pp. 2021-2036.

Sohngen, B. et R. Sedjo. « Impacts of climate change on forest products: implications for North American producers », *The Forestry Chronicle*, vol. 81, no 5, 2005, p. 669-674.

Sohngen, B., R.Mendelsohn et R. Sedjo. « A global model of climate change impacts on timber markets », *Journal of Agricultural and Resource Economics*, vol. 26, nº 2, 2001, pp. 326-343.

Statistique Canada. *Le commerce international de marchandises du Canada*, Statistique Canada, 2004, <http://www.statcan.ca/bsolc/français/bsolc?catno=65-001-X>, [consultation : 4 juillet 2007].

Statistique Canada. *Voyages et tourisme*, Statistique Canada, 2006, <http://www41.statcan.ca/4007/ceb4007_000_f.htm>, [consultation : 10 mai 2007].

Stern, N. *Stern Review on the Economics of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2006, 712 p., <http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern review_index.cfm>, [consultation : 10 mai 2007].

Stocker, T.F., G.K.C. Clarke, H. Le Treut, R.S. Lindzen, V.P. Meleshko, R.K. Mugara, T.N. Palmer, R.T. Pierrehumbert, P.J. Sellers, K.E. Trenberth et J. Willebrand. « Physical climate processes and feedbacks », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, contribution du Groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 417-470.

The Western Producer. U.S. wheat struggles in drought, *The Western Producer*, Saskatoon (Saskatchewan), 12 janvier, 2006.

Thomson, A., R. Brown, N. Rosenberg, R. Izaurralde et V. Benson. « Climate change impacts for the conterminous USA: an integrated assessment: Part 3- dryland production of grain and forage crops », *Climatic Change*, vol. 69, nº 1, 2005b, pp. 43-65.

Thomson, A., R. Brown, N. Rosenberg, R. Srinivasan et R. Izaurralde. « Climate change impacts for the conterminous USA: an integrated assessment: Part 4 - water resources », *Climatic Change*, vol. 69, nº 1, 2005c, pp. 67-88.

Thomson, A., N. Rosenberg, R. Izaurralde et R. Brown. « Climate change impacts for the conterminous USA: an integrated assessment: Part 5- irrigated agriculture and national grain crop production », *Climatic Change*, vol. 69, nº 1, 2005a, pp. 89-105.

Timmermann, A., J.M. Oberhuber, A. Bacher, M. Esch, M. Latif et E. Roeckner. « Increased El Nino frequency in a climate model forced by future greenhouse warming », *Nature*, vol. 398, nº 6729, 1999, pp. 694-697.

Tin, T. « Hydrological changes in the Great Lakes-St. Lawrence Basin under climate change and impacts on hydropower generation », dans *Implications of a 2° global temperature rise on Canada's water resources*, rapport rédigé pour le Sage Centre, 2006, pp. 36-65, <http://www.sagecentre.org/sage/sagereport.pdf>, [consultation : 10 mai 2007].

Tol, R.S.J. « Estimates of the damage costs of climate change, Part 1: benchmark estimates », *Environmental and Resource Economics*, vol. 21, nº 1, 2002, pp. 47-73.

Toledo Tito, J. Impacto en la Salud del Fenomeno dEl Niño 1982-83 en el Peru, présenté à un atelier d'Amérique centrale sur l'effet sur la santé du phénomène El Niño, San Jose, Costa Rica, du 3 au 5 novembre 1997; Organisation mondiale de la santé-Pan American Health Organization, 1997.

Tong S., B. Peng, K. Parton, J. Hobbs et A.J. McMichael. « Climate variability and transmission of epidemic polyarthritis », *Lancet*, vol. 351, no 9109, 1998, p. 1100.

Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden et P. Zhai. « Observations: surface and atmospheric climate change », dans *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (éd.); Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007.

Vilhjálmsson, H., S. Agnarsson, R. Arnason, J.E. Carscadden, A. Eide, D. Fluharty, G. Hønneland, C. Hvingel, J. Jakobsson, G. Lilly, O. Nakken, V. Radchenko, S. Ramstad, W. Schrank, N. Vestergaard et T. Wilderbuer. « Fisheries and aquaculture », dans *Arctic Climate Impact Assessment*; Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2005, pp. 691-780.

Volney, W.J.A. et R. A. Fleming. « Climate change and impacts of boreal forest insects », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 82, nº 1-2, 2000, pp. 283-294.

Walsh, J.E., O. Anisimov, J.O.M. Hagen, T. Jakobsson, J. Oerlemans, T.D. Prowse, V. Romanovsky, N. Savelieva, M. Serreze, A. Shiklomanov, I. Shiklomanov, S. Solomon. « Cryosphere and hydrology », chapitre 6 dans *Arctic Climate Impact Assessment*, Cambridge University Press, New York, New York, 2005, pp. 183-242, <http://www.acia.uaf.edu/pages/scientific.html> [accessed June 27, 2007].

Wang, X.L. et V.R. Swail. « Climate change signal and uncertainty in projections of ocean wave heights », *Climate Dynamics*, vol. 26, nº 2-3, 2006a, pp. 109-126.

Wang, X.L. et V.R. Swail. « Historical and possible future changes of wave heights in northern hemisphere ocean », dans *Atmosphere-Ocean Interactions*, Volume 2, W. Perrie (éd.), Wessex Institute of Technology Press, Southampton, Royaume-Uni, 2006b, pp. 185-218.

Wang, X.L., F.W. Zwiers et V.R. Swail. « North Atlantic ocean wave climate change scenarios for the twenty-first century », *Journal of Climate*, vol. 17, nº 12, 2004, pp. 2368-2383.

Weaver, A.J. et C. Hillaire-Marcel. « Global warming and the next ice age », *Science*, vol. 304, 2004b, pp. 400-402.

Webster, P.J., G.J. Holland, J.A. Curry et H.-R. Chang. « Changes in tropical cyclone number, duration and intensity in a warming environment », *Science*, vol. 309, nº 5669, 2005, pp. 1844-46.

Welch, D.W., Y. Ishida et K. Nagasawa. « Thermal limits and ocean migrations of sockeye salmon: long term consequences of global warming », *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol 55, nº 4, 1998, pp. 937-948.

Westing, A. H. « Environmental refugees: a growing category of displaced persons », *Environmental Conservation*, vol. 19, nº 3, 1992, pp. 201-207.

Williams, D.W. et A.M. Liebhold. « Climate change and the outbreak ranges of two North American bark beetles », *Agriculture and Forest Entomology*, vol. 4, nº 2, 2002, pp. 87-99.

World Tourism Organization (WTO). Tourism Factbook, World Tourism Organization, Madrid, Espagne, 2005, <http://fiordilili.wtoelibrary.org/vl=990785/cl=17/nw=1/rpsv/tfb.htm>, [consultation : 3 juillet 2007].

Yap, D., N. Reid, G. De Brou et R. Bloxam. *Transboundary air pollution in Ontario*, Ministère de l'Environnement de l'Ontario, 2005, 114 p.

Zubair, L. « Empowering the vulnerable », *Tiempo*, nº 52, 2004, pp. 3-6.

PROGRÈS SUR LA VOIE DE L'ADAPTATION

CHAPITRE 10
Progrès sur la voie de l'adaptation

Auteur :
Ian Burton[1, 2]

Notation bibliographique recommandée :

Burton, I. « Progrès sur la voie de l'adaptation », dans *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*, D.S. Lemmen, F.J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éditeurs), Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, pp. 425–440.

---

[1] Chercheur indépendant et scientifique émérite, Environnement Canada, Toronto, professeur émérite, Université de Toronto.

[2] L'auteur exprime sa reconnaissance aux auteurs et aux membres du comité consultatif, dont les points de vue et les observations ont largement contribué à façonner la structure, le contenu et le style du présent chapitre : Alain Bourque, Jim Bruce, Norm Catto, Dan Forbes, Jenny Fraser, Eric Harries, Beth Lavender, Don Lemmen, Linda Mortsch, David Sauchyn, Robin Sydneysmith, Lisette Vasseur, Fiona Warren, Elaine Wheaton et Leslie Whitby. En outre, il tient à remercier Yvonne Howard et Theo Dickinson pour l'aide qu'elles ont apportée à la recherche. Le contenu de ce chapitre tient compte de toutes les observations des réviseurs.

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 428
- 1.1 Vision d'une société adaptative 428
- 1.2 Portée du présent chapitre 429

2 ÉTAT DE L'ADAPTATION 429
- 2.1 L'adaptation : un impératif 429
- 2.2 Jeter les bases de l'adaptation 430
- 2.3 Exemples d'activités d'adaptation en cours 430
- 2.4 Dimension internationale des impacts et de l'adaptation 431

3 MAINTIEN DE L'IMPULSION 433
- 3.1 Tenir à jour et renforcer la base de connaissances 434
- 3.2 Synthétiser et partager les connaissances 434
- 3.3 Supprimer les obstacles à l'action 435
- 3.4 Examiner ce qui se fait ailleurs et participer à des initiatives internationales 436

4 MESURES À COURT TERME 437
- 4.1 Accroître la mobilisation et la collaboration 437
- 4.2 Prêcher par l'exemple 437
- 4.3 Accroître les capacités institutionnelles 437
- 4.4 Promouvoir et rendre obligatoires des mesures d'adaptation 437

5 CONCRÉTISATION DE LA VISION 438

RÉFÉRENCES 438

SOMMAIRE

Après s'être interrogé sur la réalité et les causes du changement climatique, le débat s'est recentré sur les mesures à prendre pour s'attaquer aux causes et aux conséquences du problème. La réduction des émissions de gaz à effet de serre est essentielle pour réduire le rythme et l'ampleur du changement climatique, mais certains changements importants d'ordre climatique se produiront de toute façon. C'est pourquoi il faut également des mesures d'adaptation. Étant donné que le changement climatique se poursuivra pendant de nombreuses décennies, l'adaptation est un processus continu qui consiste à se doter de la capacité d'apporter constamment des rajustements en réponse à un climat en évolution et à d'autres stress. Elle fait intervenir un large éventail d'acteurs : les particuliers, les groupes communautaires, la société civile, le secteur privé et tous les ordres de gouvernement.

Le Canada a la capacité, d'une part de s'adapter aux effets néfastes du changement climatique et, d'autre part de tirer avantage des possibilités qu'il apportera. La mise en œuvre de cette capacité d'adaptation sera facilitée par une meilleure connaissance des impacts du changement climatique et une compréhension plus large du rôle de l'adaptation. Au Canada, on a déjà commencé à prendre des mesures d'adaptation. La plupart ont été mises en œuvre en réponse à des événements isolés ou à des circonstances particulières, au gré des besoins et des capacités. Une approche plus préventive et stratégique de l'adaptation aiderait à réduire les coûts économiques et sociaux, à accroître l'efficacité et à atténuer la vulnérabilité au Canada.

Pour poursuivre sur la voie de l'adaptation au Canada, il faut maintenir l'impulsion donnée par les initiatives en cours et envisager d'autres mesures de nature à faciliter la mise en œuvre des mesures et des politiques d'adaptation. Pour poursuivre sur la lancée des activités actuelles, il faut :

- tenir à jour et renforcer la base des connaissances;
- synthétiser et partager les connaissances;
- supprimer les obstacles à l'action;
- examiner les initiatives internationales et y contribuer.

Pour atteindre ces objectifs, tous les intervenants dans l'adaptation au changement climatique auront un rôle à jouer. Parmi les mesures qui pourraient être prises à court terme, on peut considérer les suivantes :

- élargir la mobilisation et la collaboration;
- prêcher par l'exemple;
- augmenter les capacités institutionnelles;
- promouvoir et, s'il y a lieu, rendre obligatoires des mesures d'adaptation.

1 INTRODUCTION

1.1 VISION D'UNE SOCIÉTÉ ADAPTATIVE

L'auteur propose la vision d'une société canadienne adaptable et dotée de la capacité d'adaptation, capable simultanément de relever avec confiance le défi du changement climatique en réduisant ses émissions de gaz à effet de serre et en adoptant des mesures d'adaptation, et de prospérer. Pareille vision ne saurait se concrétiser avec des mesures spontanées ou un laissez-faire. Un certain nombre de mesures proactives et coordonnées s'imposent. Les Canadiens et les Canadiennes devront, à tout le moins, avoir accès à la meilleure information scientifique et aux meilleurs conseils d'experts pour être en mesure de faire un choix judicieux (*voir* l'encadré 1). Le succès de l'adaptation dépendra du maintien et du renforcement de la base de connaissances et de la mise en place de mécanismes de partage de l'information. Parallèlement, il faudra s'efforcer d'abattre les obstacles qui entravent l'action, afin de créer un milieu favorable à l'adaptation. Cette évolution exige du leadership, qui doit venir à la fois du secteur public et du secteur privé, ainsi que des changements d'attitude et de comportement au sein du public et, aussi, un plus haut degré de sensibilisation aux possibilités d'adaptation.

Toutes les raisons portent à croire que les Canadiens et les Canadiennes sont capables de concrétiser cette vision. Le Canada a les richesses, la technologie, les compétences ainsi que les organisations et les institutions sociales nécessaires pour relever le défi avec succès, et une approche stratégique de l'adaptation aiderait à en maximiser l'efficience et l'efficacité. En outre, nous savons que nous ne sommes pas seuls dans la lutte contre le changement climatique dont les impacts seront vraisemblablement plus prononcés au Canada, en particulier dans le nord, que dans bien d'autres régions du monde; cependant, notre capacité d'adaptation est considérable. Nous sommes donc en mesure de nous adapter et d'aider les autres pays moins bien nantis à affronter le problème. Nous avons également la sagesse de tirer les leçons de l'expérience des autres pays.

Dans ces conditions, qu'est-ce qui pourrait bien se dresser sur notre route? Comme nous en ferons l'illustration dans les pages suivantes, il est possible de surmonter les obstacles avec les connaissances et la volonté nécessaires. Aujourd'hui, demain et au cours des prochaines décennies, il faudra, en plus d'avoir recours à l'atténuation pour ralentir les effets du changement climatique, prendre un grand nombre de mesures d'adaptation. Il est important de reconnaître, cependant, que la connaissance de l'adaptation et la volonté de s'adapter sont des préalables incontournables. Le présent chapitre se veut précisément une contribution aux efforts pour mieux faire connaître les possibilités d'adaptation et susciter la volonté de s'adapter.

ENCADRÉ 1

En quoi consiste l'adaptation au changement climatique?

(*extrait modifié tiré du* chapitre 2)

L'adaptation au changement climatique est l'ensemble des activités qui atténuent les impacts négatifs du changement climatique ou nous permettent de saisir les nouvelles possibilités offertes par ce même changement. On distingue plusieurs types de mesures d'adaptation (*voir* le tableau 1). Certaines sont prises avant que les impacts ne soient constatés (mesures anticipatoires) et d'autres, après que les impacts sont ressentis (mesures réactionnelles; Smit *et al.*, 1999). Ces deux types de mesures peuvent être planifiés (c.-à-d. découler de décisions stratégiques délibérées), tandis que les mesures d'adaptation réactionnelles peuvent également être spontanées (c.-à-d. prises de façon autonome, sans planification). Dans la plupart des situations, les mesures préventives planifiées ont des coûts moins élevés à long terme et sont plus efficaces que les mesures réactives. Par ailleurs, les mesures d'adaptation peuvent être temporaires ou permanentes, réversibles ou irréversibles.

Habituellement, les mesures d'adaptation ne sont pas prises uniquement en fonction du changement climatique; elles tiennent compte d'un éventail de facteurs et des possibilités de synergies et de conflits. Une mesure d'adaptation, si efficace soit-elle, n'élimine pas nécessairement les impacts négatifs; seulement, elle les atténue. Pour choisir la solution d'adaptation qui convient le mieux à une situation donnée, il faut tenir compte de la faisabilité et, de la probabilité et des mécanismes d'adoption.

TABLEAU 1 : Différents types de mesures d'adaptation (*extrait modifié tiré de* Smit *et al.*, 1999).

ADAPTATION			
Selon	**Type d'adaptation**		
Intention *Par rapport au stimulus climatique*	**Autonome** *(p. ex., systèmes naturels non gérés)*		**Planifiée** *(e.g. public agencies)*
Action *Après le stimulus climatique*	**Réactionnelle** *(après)* *(d'après des modifications constatées)*	**Simultanée** *(en même temps)*	**Anticipatoire** *(avant)* *(modification antérieure)*
Plage temporelle	**Court terme** *Ajustements, instantanés, autonomes*		**Long terme** *Adaptation, cumulative, politique*
Plage spatiale	**Localisée**		**Étendue**

1.2 PORTÉE DU PRÉSENT CHAPITRE

Dans ce chapitre, on se penche sur les moyens de prolonger et de renforcer l'impulsion donnée à l'adaptation au Canada. Pour ce faire, on s'inspire des chapitres précédents de la présente évaluation, des rapports du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), du corpus grandissant des recherches sur l'adaptation ainsi que des mesures d'adaptation prises ailleurs dans le monde. La section 2 du présent chapitre rend compte brièvement de l'état actuel de l'adaptation au Canada, alors que la section 3 décrit les mesures déjà mises en œuvre et les autres à entreprendre pour soutenir la prise de décisions en matière d'adaptation au cours de la prochaine décennie ou à peu près. La section 4 définit les prochaines étapes possibles.

2 ÉTAT DE L'ADAPTATION

2.1 L'ADAPTATION : UN IMPÉRATIF

La réduction des émissions de gaz à effet de serre n'est pas suffisante pour relever les défis associés au changement climatique. Il faut également des mesures d'adaptation. On constate déjà partout au Canada (*voir* les chapitres 3 à 8) et ailleurs dans le monde (*voir* le chapitre 9; GIEC, 2007a, b) de nombreux impacts du changement climatique. D'autres sont inévitables; la Terre et son atmosphère vont subir des changements d'ordre climatique pendant encore plusieurs siècles, qui s'accompagneront d'une élévation du niveau de la mer (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat, 2007a).

En prévision des impacts du changement climatique, la collectivité internationale a adopté en 1992 la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), qui vise essentiellement à stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère de manière à éviter toute interférence dangereuse des êtres humains avec le système climatique. Or, un des critères importants pour évaluer ce qui constitue un « danger » est la capacité d'adaptation. C'est pourquoi la Convention reconnaît la nécessité de l'adaptation et prévoit des mesures pour aider les pays les plus vulnérables à absorber les coûts de l'adaptation.

L'adaptation est un impératif, cela ne fait pas de doute. Il s'agit maintenant de déterminer à quel moment elle se fera et quelle forme elle prendra. Certaines mesures seront prises spontanément, et on en voit déjà des exemples au Canada et ailleurs dans le monde. D'autres exigeront une planification, une coopération et une coordination rigoureuses. Il ne fait pas de doute qu'une approche proactive augmentera les chances de succès des mesures d'adaptation et en réduira les coûts.

L'adaptation et l'atténuation sont complémentaires et également essentielles à la lutte contre le changement climatique. Jusqu'à maintenant, on s'est relativement peu intéressé au rôle de l'adaptation et à son rapport avec l'atténuation (p. ex., Klein *et al.*, 2007) contrairement à l'attention portée à l'atténuation comme telle, mais il est évident que les mesures d'adaptation seront plus faciles à mettre en œuvre et plus efficaces si le rythme et l'ampleur du changement climatique diminuent. Si l'on en connaît peu sur les coûts de l'adaptation (p. ex., Churchill *et al.* 2006; Stern, 2006), on sait par contre que plus le rythme et l'ampleur des changements climatiques augmenteront, plus les mesures d'adaptation seront difficiles à mettre en œuvre et coûteuses. Il y a évidemment des limites à l'adaptation.

Quelques innovateurs donnent le ton actuellement. Les particuliers, les collectivités, la société civile, le secteur privé, le milieu des affaires, le secteur commercial et tous les ordres de gouvernement ont un rôle à jouer dans l'adaptation. Le nombre et la diversité des intervenants sont des indicateurs de la complexité de l'adaptation, en particulier à l'échelle régionale et nationale. Cette complexité tient en partie à la répartition inégale des impacts, des coûts et des avantages entre les régions et les localités, entre les secteurs de l'économie et entre les différents groupes sociaux, de même qu'aux différences de capacité d'adaptation au changement climatique entre ces acteurs.

Il y a un large consensus autour de la nécessité d'accorder une plus grande attention à l'adaptation, et on commence à prendre des mesures concrètes en ce sens. La connaissance des risques et des possibilités découlant du changement climatique et la compréhension des processus d'adaptation ont progressé considérablement. Les résultats des recherches présentés dans les chapitres précédents du présent rapport d'évaluation témoignent des progrès accomplis au Canada. Même si les efforts ont été axés davantage sur les impacts, le rapport mentionne des exemples concrets de mesures d'adaptation prises au Canada et ailleurs dans le monde, qui contribuent à accroître la compréhension des processus d'adaptation.

Cela dit, il reste des lacunes à combler sur le plan des connaissances. Entre autres, il importe de trouver des réponses aux questions suivantes :

- Dans quelle mesure peut-on s'attendre à ce que les gens et l'industrie prennent des mesures spontanément, de leur propre chef et dans leur propre intérêt?
- De quelle information a-t-on besoin au sujet des risques associés au changement climatique et où devrait-on aller la chercher?

- Dans quelle mesure est-il nécessaire d'encadrer et de promouvoir l'adaptation?
- Comment peut-on coordonner les réponses et comment les responsabilités et les coûts seront-ils répartis?
- De quel type d'adaptation a-t-on besoin dans l'intérêt de la sécurité publique?

Les réponses à ces questions aideraient à cerner les priorités en matière d'adaptation. S'il est vrai qu'il faut produire davantage de connaissances, encore faut-il pouvoir les communiquer efficacement. Le manque de connaissances est l'un des principaux obstacles à une adaptation efficace dans le Canada d'aujourd'hui.

2.2 JETER LES BASES DE L'ADAPTATION

L'adaptation au climat, même au climat « normal », a toujours été une nécessité (Burton, 2004); on la pratique couramment parmi les spécialistes et les gestionnaires dans certaines disciplines ou professions. Cette tradition a favorisé une croissance rapide de la recherche et de la documentation sur l'adaptation au changement climatique depuis que la CCNUCC a été ouverte à la ratification en 1992 (p. ex., Smit *et al.*, 1999, 2000). On a élaboré des politiques-cadres en matière d'adaptation (Programme pour le développement des Nations Unies, 2005), on a développé la notion de vulnérabilité (*voir* le chapitre 2) et on a proposé une première série d'indicateurs quantitatifs de la vulnérabilité (Adger *et al.*, 2004; Downing et Patwardhan, 2005). En outre, on a constitué des recueils d'outils et de méthodes d'évaluation des impacts et de l'adaptation (Feenstra *et al.*, 1998; Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, 2005) et on a examiné le besoin et les possibilités de développement et de transfert de technologies (Klein *et al.*, 2006). Ainsi, on a jeté des bases solides pour l'élaboration de politiques d'adaptation et la mise en œuvre de mesures d'adaptation.

Au Canada, comme d'ailleurs presque partout dans le monde industrialisé, l'adaptation au changement climatique n'en est qu'à ses débuts. Les experts canadiens ont apporté une large contribution au développement de la théorie et de la pratique de l'adaptation, par leurs travaux au sein de certaines organisations telles que le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC). Les mesures d'adaptation qui contribuent à rendre à la fois le présent et l'avenir plus durables, qu'on appelle aussi mesures de type « sans regrets », sont souvent considérées comme la clé pour aller de l'avant en dépit des incertitudes. Les mesures d'adaptation intégrées à la conception des bâtiments et des infrastructures, à la conservation de l'eau et de l'énergie, à la production de sources d'énergie renouvelable et à la diversification des économies sont avantageuses en tout état de cause; dans les collectivités, elles constituent un bon point de départ pour accroître la capacité d'adaptation.

Les professionnels, les experts et les gestionnaires ont l'habitude d'utiliser leurs propres processus et outils institutionnels pour gérer les risques, planifier la rotation des stocks et présenter des analyses de rentabilité. Tous ces groupes doivent désormais tenir compte du changement climatique dans leur travail; ils seront tous confrontés aux mêmes difficultés lorsque viendra le temps de concevoir la meilleure façon d'y parvenir. Dans les façons de faire traditionnelles (qui demeurent inchangées dans bien des cas), on présume que les « normales » climatiques du passé vaudront également pour l'avenir, et on a largement recours à des analyses empiriques des données climatiques antérieures. Or, cette présomption ne tient plus et, par conséquent, ce type d'analyse ne peut plus constituer une base de raisonnement raisonnable pour prendre des décisions en matière d'adaptation. De plus en plus, on s'efforce d'intégrer l'information sur les tendances et les projections climatiques dans le processus décisionnel. On s'en remettra davantage au jugement des experts, qui sera plus facile à accepter si les analyses des tendances et les scénarios climatiques concordent. C'est le cas pour la plupart des impacts climatiques au Canada, mais il y a des exceptions. Par exemple, malgré les tendances historiques à la diminution du ruissellement dans une bonne partie du nord du Québec, les modèles climatiques prévoient systématiquement une augmentation du ruissellement (*voir* le chapitre 5). Il semble toutefois que, dans un avenir prévisible, dans un grand nombre de domaines spécialisés, la meilleure stratégie en vue d'assurer la prise en considération du changement climatique dans le processus décisionnel résidera dans une combinaison d'analyses des tendances et de projections climatiques (Carter *et al.*, 2007).

2.3 EXEMPLES D'ACTIVITÉS D'ADAPTATION EN COURS

Il y a déjà un bon moment que l'on utilise des politiques et des mesures pour faire face à la variabilité et aux extrêmes climatiques au Canada. En fait, l'histoire du Canada est dans une large mesure celle d'une constante lutte pour prospérer sous un climat difficile qui varie d'une région à l'autre. Pour s'adapter à des changements climatiques continus, il faudra à la fois poursuivre les initiatives déjà entreprises et avoir recours à des approches nouvelles. Plusieurs des leçons tirées de l'expérience (heureuse ou malheureuse) d'adaptation aux conditions climatiques antérieures, à la variabilité et aux extrêmes climatiques, seront riches d'enseignement pour les décisions qui seront prises en matière d'adaptation. Ce qui différencie l'adaptation à un climat « normal » de l'adaptation au changement climatique, ce sont le rythme du changement prévu et les incertitudes qui s'y rattachent. Il faut bien comprendre qu'il n'y aura pas de retour à la « normale ». Il faut s'attendre, au contraire, à une série de changements qui se poursuivront pendant des décennies, voire des siècles. Il ne s'agit donc pas de planifier en fonction d'un climat différent mais stable; il faut plutôt se donner la capacité et la souplesse nécessaires pour composer avec le climat de demain, quel qu'il soit.

Il faut à la fois mettre en œuvre des mesures d'adaptation opérationnelles et faciliter les efforts futurs en augmentant la capacité d'adaptation (Smit et Wandel, 2006). Idéalement, les initiatives à cet égard seraient intégrées à d'autres programmes et mues par des objectifs qui vont au-delà de la simple préparation au changement climatique. On se trouve au tout début d'un processus

d'intégration des risques climatiques dans le processus décisionnel, qui fera en sorte que les décisions en matière d'adaptation soient fondées sur une connaissance des variations des paramètres tant climatiques que non climatiques (Klein *et al.*, 2007).

La capacité d'adaptation varie considérablement entre les régions, les collectivités et les secteurs d'activité au Canada, en raison d'un grand nombre de facteurs économiques, sociaux, institutionnels et géographiques (p. ex., Smit et Wandel, 2006). Une foule de motivations sous-tendent l'adaptation, depuis la protection de la santé et de la sécurité au cours des phénomènes météorologiques extrêmes jusqu'au désir de rendre les entreprises plus compétitives, efficientes et rentables et d'assurer un rendement économique durable à long terme. Les exemples présentés dans le tableau 2 montrent que de nombreux acteurs — les particuliers, les groupes communautaires, le secteur privé et tous les ordres de gouvernement — interviennent dans l'adaptation au changement climatique et indiquent de quelle façon les Canadiens et les Canadiennes commencent à s'adapter.

Comme le constate le Conference Board du Canada, les possibilités d'adaptation sont considérables dans le secteur privé (Churchill *et al.*, 2006). Cependant, même si tout indique que les Canadiens sont de plus en plus sensibilisés au problème, son rapport fait état de la nécessité d'accentuer les préparatifs et de prendre d'autres mesures préventives (Churchill *et al.*, 2006). Des organisations industrielles et professionnelles, comme le Conseil canadien des ingénieurs et l'Institut canadien des urbanistes, ont entrepris d'inclure l'adaptation au changement climatique dans leurs programmes d'études. D'autres, comme l'Air and Waste Management Association et l'Association canadienne des ressources hydriques, inscrivent également l'adaptation au changement climatique dans leurs programmes. Les obstacles à l'adaptation dans le secteur privé sont les coûts perçus de l'innovation et la position désavantageuse où les entreprises risquent de se retrouver si les consommateurs ne réclament pas un relèvement des normes ou si les gouvernements n'établissent pas des codes plus rigoureux.

Le rôle des gouvernements en matière d'adaptation consiste souvent à trouver un juste équilibre entre la protection de la sécurité du public et la facilitation et la promotion de l'adaptation sans décourager l'innovation, l'initiative et l'esprit d'entreprise. Le Quatrième rapport national du Canada sur les changements climatiques (Environnement Canada, 2006) décrit un certain nombre d'initiatives et de programmes récents du gouvernement qui facilitent l'adaptation. Dans certaines circonstances, il peut être nécessaire au nom de la sécurité publique d'emprunter la voie de la réglementation et de réviser les codes et les normes applicables aux infrastructures, pour faire en sorte que les risques liés au changement climatique soient pris en considération dans la conception et la construction des ouvrages. Au moment où ces lignes sont écrites, le Conseil canadien des ingénieurs, l'Association canadienne de normalisation et la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie ont mis en œuvre des initiatives qui ont pour but d'étudier différents aspects de l'adaptation des infrastructures au Canada.

Le tableau 2 donne des exemples de mesures d'adaptation prises par différents acteurs, qui donnent une idée de la nature des interventions que rendra nécessaire le changement climatique à une échelle beaucoup plus grande. Il reste à déterminer comment les activités de ce genre pourront être étendues avec rapidité et efficacité. Il est clair, cependant, que la collaboration entre tous les ordres de gouvernement, le secteur privé, la société civile et les chercheurs, et à l'intérieur de chacun de ces groupes, est essentielle. Comme dans d'autres domaines de la politique publique, un manque d'intégration et de collaboration peut être lourd de conséquences.

2.4 DIMENSION INTERNATIONALE DES IMPACTS ET DE L'ADAPTATION

Les impacts du changement climatique au Canada se répercuteront sur d'autres pays, et vice versa (*voir* le chapitre 9). Cette interaction tient en partie à la compétitivité et à la dynamique de l'offre et de la demande sur le marché mondial. Par exemple, si la saison de croissance s'allongeait et devenait plus chaude, le Canada aurait moins besoin d'importer des fruits et des légumes. Les impacts du changement climatique sur la santé et la migration des populations humaines et sur les eaux limitrophes posent également des problèmes. Le chapitre 9 analyse la question des effets directs et indirects que pourraient avoir sur le Canada le changement climatique qui se produit ailleurs dans le monde. Les auteurs concluent que pour bien apprécier toute l'ampleur des impacts du changement climatique au Canada, il faut tenir compte de leur dimension internationale.

Il est important également de tenir compte de la dimension internationale dans les décisions d'adaptation. Par exemple, les mesures et les politiques adoptées dans un pays donné pourraient ériger des barrières commerciales ou instaurer des subventions, ce qui ne manquerait pas de susciter des réactions sous le régime des accords commerciaux internationaux. Ces changements s'effectueraient probablement de façon progressive. Il est néanmoins important pour les décideurs et l'industrie du Canada de connaître ces implications économiques de l'adaptation au changement climatique.

Beaucoup d'autres nations, en particulier parmi les pays en développement, seront vraisemblablement plus touchées par le changement climatique que le Canada. L'augmentation de la fréquence et de la sévérité des désastres d'origine météorologique constitue déjà un obstacle de taille au développement et augmente les besoins en aide humanitaire (Red Cross/Red Crescent Climate Centre, 2007). Les pays en développement ont de plus en plus besoin d'aide technique et financière pour s'adapter au changement climatique et aux phénomènes extrêmes qui l'accompagne (*voir* le chapitre 9). En outre, l'augmentation des pertes attribuables aux désastres d'ordre météorologique à la grandeur de la planète a des répercussions sur les coûts d'assurance et de réassurance (Linnerooth-Bayer et Mechler, 2006).

TABLEAU 2 : Exemples choisis de mesures d'adaptation prises par des particuliers, des groupes communautaires, des entreprises et des gouvernements au Canada.

Exemple d'adaptation	Référence ou chapitre
PARTICULIERS	
• Les résidents du Nord font usage plus fréquemment de produits insectifuges et de moustiquaires pour se protéger contre les proliférations d'insectes.	Nickels *et al.* (2002) Chapitre 3
• Dans l'Arctique, les chasseurs ont davantage recours aux systèmes de positionnement par satellites pour faciliter la navigation dans des conditions météo imprévisibles ou difficiles.	Ford *et al.* (2006) Chapitre 3
• Maisons et chalets sont construits plus loin de la côte.	Chapitres 4 et 8
• Échaudés récemment par des conditions météo inclémentes, les résidents des collectivités côtières éloignées prennent des mesures pour mieux se préparer à des interruptions de service (p. ex. électricité, alimentation, transport).	Chapitres 4 et 8
GROUPES COMMUNAUTAIRES ET ORGANISATIONS	
• La collectivité d'Arctic Bay, au Nunavut, a déplacé une partie de son quota de narvals du printemps vers l'été afin de réduire les risques associés à la débâcle et d'augmenter les chances de succès de la chasse.	Armitage (2005); Collectivité d'Arctic Bay *et al.* (2006) Chapitre 3
• Les résidents de Pointe-du-Chêne, au Nouveau-Brunswick, ont aménagé un abri d'urgence en raison de l'augmentation des risques d'inondation et exercé des pressions sur leurs élus pour avoir des chemins d'accès moins vulnérables.	Chapitre 4
• Un groupe communautaire d'Annapolis Royal, en Nouvelle-Écosse, a fait dresser une carte des risques d'ondes de tempête et révisé leurs mesures d'urgence en conséquence.	Medhi *et al.* (2006) Chapitre 4
• Les membres du groupe Mississippi Valley Field Naturalists (Ontario) ont publié un rapport qui renseigne les résidents sur les impacts que les changements climatiques peuvent avoir sur l'état de la glace d'année en année.	Egginton *et al.* (2007) Chapitre 6
ENTREPRISES	
• Dans le delta du Mackenzie, on emploie des barges plutôt que des installations de production construites sur la terre ferme, car la hausse des températures et l'élévation des niveaux marins augmentent les risques d'inondation.	Chapitre 3
• Dans plusieurs grands projets de construction d'infrastructures dans le Nord, on emploie des thermosiphons pour refroidir artificiellement le pergélisol dans des conditions de réchauffement climatique.	EBA Engineering Consultants Ltd. (1995) Chapitre 3
• Des producteurs agricoles souscrivent une assurance-récolte pour compenser les pertes causées par le temps inclément.	Wittrock et Koshida (2005) Chapitres 6, 7 et 8
• Certaines entreprises forestières ont commencé à équiper leurs véhicules de pneus à haute flottaison pour mieux manœuvrer sur des terrains mouillés ou détrempés, ce qui leur permet de travailler dans toutes sortes de conditions météorologiques.	Cline *et al.* (2006); Mellgren et Heidersdorf (1984) Chapitre 7
• Dans le centre de la Colombie-Britannique, l'industrie forestière s'efforce d'extraire autant de bois marchand que possible des forêts attaquées par le dendroctone du pin poderosa. Elle tente également de trouver des débouchés aux arbres morts.	Pederson (2004)
• Des producteurs changent de produit final (p. ex. ils offrent des jus plutôt que des fruits frais) si la saison n'a pas été favorable.	Risbey *et al.* (1999); Belliveau *et al.* (2006)
• Des centres de ski diversifient leurs activités, pour englober autant de saisons que possible.	Scott (2003)

Exemple d'adaptation	Référence ou chapitre
GOUVERNEMENTS	
• Des municipalités sises dans la partie est de la Côte-Nord du Québec ont réglementé la construction dans les zones vulnérables à l'érosion côtière et aux inondations.	Chapitre 5
• À Westbank, en Colombie-Britannique, on tient compte du changement climatique dans le plan de gestion de l'eau de l'unité de planification dite Trepanier Landscape Unit.	Summit Environmental (2004) Chapitre 8
• Dans la ville de Vanderhoof, la Colombie-Britannique collabore avec le Service canadien des forêts à un projet pilote d'évaluation de la vulnérabilité qui vise notamment à faciliter la planification de l'adaptation au changement climatique.	Ressources naturelles Canada (2005) Chapitre 8
• Des compteurs d'eau ont été installés dans le district d'irrigation de Southeast Kelowna et dans plusieurs villes canadiennes (p. ex., Kelowna, C.-B.; Sudbury, Ont.; Moncton, N.-B.) afin de réduire la consommation d'eau.	Chapitres 4, 6 et 8
• La municipalité de Regina, en Saskatchewan, a accentué ses efforts pour économiser l'eau.	Cecil *et al.* (2005)
• Des systèmes d'alerte au smog et d'avertissement de chaleur intense ont été mis en place à Toronto (Ontario) et Montréal (Québec).	Rainham *et al.*(2005); Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (2006)
• Au Nouveau-Brunswick, la Politique de protection des zones côtières établit des marges de retrait pour les structures permanentes et pourrait faciliter le retrait planifié.	Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick (2002)
• En Alberta, la Water for Life Strategy vise à atténuer les impacts du changement climatique dans des régions qui sont déjà soumises à des stress hydriques.	Government of Alberta (2003)
• En Colombie-Britannique, la Future Forests Ecosystem Initiative intègre des mesures d'adaptation au changement climatique dans les pratiques d'aménagement forestier.	BC Ministry of Forests and Range (2007)
• Une foule de programmes fédéraux, provinciaux et territoriaux soutiennent la recherche et le réseautage.	Environnement Canada (2006)

3 MAINTIEN DE L'IMPULSION

Le rôle et l'importance de l'adaptation sont de plus en plus reconnus parmi les scientifiques et les gouvernements (p. ex., Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat, 2007b; Pielke *et al.*, 2007), et certains reportages médiatiques ont fait état de la nécessité de l'adaptation (p. ex., CBC News, 2007; Graham et Revkin, 2007; Harrison, 2007; Shimo, 2007). Cela se constate aussi bien au Canada qu'à l'échelle internationale. Les initiatives d'adaptation en cours au Canada sont des signes prometteurs de la détermination des Canadiens (qu'il s'agisse des particuliers, des groupes communautaires, des entreprises ou des gouvernements) à s'adapter au changement climatique.

Pour maintenir l'impulsion donnée par les initiatives en cours, nous devons tourner notre regard vers l'avenir et déterminer où nous voulons aller et où nous devons aller. Même si, dans le détail, les buts visés varient selon l'horizon considéré (p. ex., mesures à court, à moyen et à long terme) et les groupes concernés, un des objectifs les plus couramment mentionnés est d'intégrer le changement climatique dans les processus décisionnels pertinents (p. ex., Klein *et al.*, 2005, 2007). Autrement dit, il ne faut pas dissocier le changement climatique des nombreux autres facteurs qui entrent en ligne de compte dans les décisions; il faut en faire un élément à part entière des analyses et des politiques intégrées. Considérons le processus d'évaluation environnementale des grands projets, comme l'exploitation minière et la construction de pipelines dans le nord du Canada (*voir* le chapitre 3). La prise en considération du changement climatique constitue un net progrès, mais l'approche projet par projet a ses limites. En effet, si cette approche contribue à réduire la vulnérabilité de la personne ou de l'organisation qui réalise le projet, elle risque aussi d'accroître celle des autres sans le vouloir. Il est donc important d'envisager l'adaptation au changement climatique dans la perspective d'une approche davantage collective et stratégique des futures activités de développement au Canada (Bureau du vérificateur général du Canada, 2006).

Afin de renforcer l'impulsion donnée aux initiatives d'adaptation, il faut que l'action entreprise s'articule autour de quatre grands axes :

- tenir à jour et renforcer la base de connaissances
- synthétiser et partager les connaissances
- supprimer les obstacles à l'action
- voir ce qui se fait ailleurs et contribuer à des initiatives internationales.

3.1 TENIR À JOUR ET RENFORCER LA BASE DE CONNAISSANCES

La gestion du changement climatique passe nécessairement par une profonde connaissance du problème. On doit connaître les vulnérabilités et les répercussions possibles du changement climatique, les projections climatiques et les processus d'adaptation et de décision. Il est important de cerner les principales lacunes sur le plan des connaissances actuelles et de reconnaître la nécessité de tenir à jour les sources de données.

Une grande partie de la documentation sur les impacts du changement climatique et l'adaptation est consacrée à la notion de vulnérabilité et à son évaluation qualitative et quantitative. La vulnérabilité est fonction de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation (*voir* le chapitre 2) et se trouve donc sous l'influence de facteurs tant climatiques que non climatiques. De façon générale, elle est d'autant plus forte que la capacité d'adaptation est faible (pour diverses raisons, notamment des ressources économiques restreintes, un manque d'accès à l'information et à la technologie, ou un tissu social peu cohésif; *voir également* le chapitre 2); que les activités économiques sont sensibles au climat; que les modes de subsistance approchent de leurs limites de tolérance ou de viabilité; et que les écosystèmes, les systèmes sociaux et les économies sont fragiles à cause d'un manque de diversité ou de résilience (p. ex., Burton et van Aalst, 1999; Adger *et al.*, 2004; Downing et Patwardhan 2005). Pour déterminer les priorités d'adaptation à court terme, il faut commencer par identifier les systèmes, les activités et les populations qui sont actuellement vulnérables aux impacts climatiques.

Pour prévoir le changement climatique, on peut certes se fonder sur les tendances climatiques passées, mais on s'inspirera surtout des analyses effectuées à l'aide de modèles de circulation générale atmosphère-océan, de modèles climatiques régionaux et de techniques statistiques de réduction d'échelle (*voir* le chapitre 2). Toutes ces méthodes ont connu des progrès importants au cours des dernières années, qui augmentent la fiabilité des projections des modèles, en particulier celles de la température moyenne. D'autres projections, cependant, sont entachées d'une plus grande incertitude; c'est le cas notamment des précipitations et d'autres variables dont il faut tenir compte pour élaborer et choisir des solutions d'adaptation précises. En outre, on connaît moins les variations probables de la variabilité et des extrêmes climatiques. Les incertitudes persistent dans le cas des projections climatiques, car les analyses sont fondées sur des hypothèses concernant les voies de développement futures et les émissions de gaz à effet de serre qui leur sont associées (*voir* le chapitre 2), ainsi que l'importance relative des effets de rétroaction positifs et négatifs et des variations non linéaires dans les systèmes biophysiques. Ce qui est incertain, ce n'est pas l'existence même du changement climatique, mais plutôt sa rapidité et son ampleur. Dès lors, l'adaptation consiste à composer à la fois avec un climat incertain et avec un climat en évolution.

La recherche sur les impacts climatiques demeure une constante nécessité. Des progrès considérables ont été faits sur le plan de la modélisation des impacts, mais il reste des lacunes à combler en ce qui concerne la sensibilité des systèmes physiques, écologiques et humains à des paramètres et seuils critiques. Une innovation importante est apparue récemment dans la recherche sur les impacts : des fonctions de densité de probabilité qui rendent compte de la répartition continue des impacts en fonction d'un éventail de tendances climatiques et de différentes échelles de variabilité (Carter *et al.*, 2007).

En ce qui concerne la prise de décisions en matière d'adaptation, on a généralement de bonnes raisons d'avoir confiance dans la capacité d'adaptation du Canada, quoique l'analyse des coûts d'adaptation demeure une lacune majeure. Cette confiance se justifie par le fait que le Canada est relativement bien nanti au regard des principaux déterminants de la capacité d'adaptation : c'est un pays riche avec une population très scolarisée, un accès à la technologie et des institutions solides efficaces. Cependant, avoir la capacité de s'adapter est une chose; avoir la volonté et la motivation pour le faire en est une autre (Burton, 2003). Une forte capacité d'adaptation ne se traduit pas nécessairement par une adaptation solide ou efficace (p. ex., Field *et al.*, 2007).

Dans toute situation, on dispose d'un large éventail de solutions d'adaptation possibles (*voir* le chapitre 3, tableau 14, qui propose un exemple dans le secteur forestier). Ces listes comprennent généralement des mesures techniques, administratives et comportementales qui pourraient être appliquées par différents groupes, notamment des gouvernements, des entreprises et des particuliers. Le choix de la solution ou de la combinaison de solutions à utiliser dépendra des coûts, de l'estimation du risque, des technologies disponibles, des contraintes et des possibilités sociales et institutionnelles, et des avantages escomptés. Par exemple, les choix d'adaptation qui s'offrent à un agriculteur aux prises avec un problème de sécheresse dépendent des institutions financières, des facteurs de production (semences, engrais, machines et équipement) et des types de programmes gouvernementaux offerts (p. ex., l'assurance-récolte). En bout de ligne, ils dépendent de la situation particulière du décideur, notamment de la façon dont il perçoit les risques et les possibilités.

Comme il faut composer avec des incertitudes et des prévisions imprécises, il peut être difficile de rallier un consensus au sujet des mesures d'adaptation à prendre. On emploie souvent des techniques de gestion du risque pour prendre des décisions qui comportent des incertitudes (Bruce *et al.*, 2005). En règle générale, la solution à ce problème réside dans l'élaboration de stratégies qui seront efficaces contre tout un éventail de scénarios climatiques différents (p. ex., Risbey, 1998; Cohen et Kulkarni, 2001).

3.2 SYNTHÉTISER ET PARTAGER LES CONNAISSANCES

En raison de l'évolution rapide du problème du changement climatique, et vu aussi le nombre et l'ampleur considérables des recherches sur les impacts du changement climatique et l'adaptation,

il faut procéder périodiquement à une synthèse des données scientifiques et les communiquer efficacement aux décideurs. Le rapport *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007* est la deuxième évaluation nationale des impacts des changements climatiques et de l'adaptation au Canada, la première étant l'*Étude pancanadienne* de 1998 (Environnement Canada, 1998). De par leur échelle spatiale, les évaluations nationales peuvent mettre en évidence l'ampleur et la gravité du problème du changement climatique, mais elles se prêtent mal à l'élaboration de plans d'adaptation détaillés. Aussi, est-il souhaitable de procéder également à des évaluations à l'échelle locale et régionale et de se concentrer sur des secteurs précis. Pour l'instant, des évaluations sont en cours au Québec (Consortium Ouranos, 2007) et en Alberta (Sauchyn *et al.*, sous presse). Une évaluation des impacts dans le secteur de la santé (Seguin, sous presse) est en cours.

Il faudrait songer à entreprendre régulièrement des évaluations précises à l'échelle locale et municipale (lieux, secteurs, risques) et à les intégrer dans des évaluations majeures plus espacées dans le temps. Par exemple, l'Union européenne (UE) a proposé d'élaborer tous les cinq ans une synthèse des résultats des programmes de recherche de l'UE et des pays membres (Commission européenne, 2007a). En procédant régulièrement à une mise à jour des données scientifiques, des données d'observation et des tendances, il est possible de comparer les données réelles sur l'évolution du climat et les impacts de premier ordre aux prévisions qui servent à établir les plans d'adaptation. Les évaluations peuvent servir de référence à l'élaboration de stratégies et de mesures dans le secteur public, dans l'entreprise et dans les collectivités. Elles aident également à orienter la recherche, en cernant les lacunes sur le plan des connaissances et en suscitant des idées nouvelles.

S'il est utile de synthétiser et d'évaluer périodiquement les nombreuses données scientifiques, il est également essentiel de transférer les connaissances qui en résultent à une foule de décideurs, y compris le grand public. La communication sert d'abord et avant tout à sensibiliser les Canadiens aux risques et aux possibilités que présente le changement climatique et à leur faire comprendre le rôle que l'adaptation peut jouer face au changement climatique.

En dehors des processus d'évaluation formels, il y a beaucoup à apprendre du partage de l'information et des expériences. Dans les collectivités où l'on appréhende des problèmes d'eau, on peut se tourner vers d'autres collectivités qui ont déjà vécu la même situation, comme dans la vallée de l'Okanagan (Cohen et Neale, 2006) ou les Prairies, pour avoir des idées sur les méthodes d'adaptation. Les exemples de partage et de transfert efficaces de ces connaissances sont relativement peu nombreux, mais il existe maintes possibilités d'améliorer l'utilisation des interfaces Web pour diffuser et échanger de l'information.

3.3 SUPPRIMER LES OBSTACLES À L'ACTION

Les chapitres précédents du présent rapport d'évaluation font état de plusieurs problèmes qui créent des obstacles à l'adaptation, notamment le manque de sensibilisation, les barrières réglementaires ou législatives et les attentes de la société. À l'heure actuelle, l'information n'est pas utilisée aussi efficacement qu'elle le pourrait à cause du problème d'accès aux renseignements essentiels et du manque d'outils pour faciliter l'intégration des connaissances actuelles dans le processus décisionnel. Le public et les médias concentrent leur attention sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre, de sorte que l'adaptation est reléguée au second plan et n'est pas reconnue à sa juste valeur.

Les ministères et organismes gouvernementaux, les autres centres et programmes soutenus par l'État, les universités, les groupes de réflexion, les organisations professionnelles et les organisations non gouvernementales, tous ces intervenants détiennent et accumulent une grande quantité de connaissances scientifiques au sujet du changement climatique. Cette information pourrait être plus facile d'accès et conviviale, et on pourrait promouvoir son utilisation avec plus de vigueur. On a besoin de renseignements précis sur les impacts possibles du changement climatique dans différents secteurs et localités et notamment sur leur rythme. Des discussions sur les mesures d'adaptation seraient également de nature à faciliter le choix de solutions efficaces au moment opportun. Comme c'est le cas dans beaucoup d'autres dossiers, on ferait probablement progresser la cause de l'adaptation en informant des publics clés et en les faisant participer activement. Augmenter l'accès aux connaissances et à l'expérience, avec l'action concertée des différents ordres de gouvernement, constituerait une façon efficace de renforcer la résilience du Canada au changement climatique. Dès lors, on pourrait concevoir des mécanismes institutionnels permettant de rendre accessible l'information sur le changement climatique et de faire participer les Canadiens à la recherche de solutions d'adaptation.

Des analyses sont nécessaires, mais encore faut-il disposer des outils d'aide à la décision et des ensembles de données qu'elles nécessitent. Il existe plusieurs façons de présenter l'information; l'une des plus importantes est le scénario climatique, qui fait l'objet de vigoureuses recherches au Canada (Réseau des scénarios de changements climatiques, 2007; Consortium Ouranos, 2007). Les chercheurs s'entendent sur la nécessité de recueillir de l'information plus détaillée sur la distribution des probabilités des impacts. De plus, s'il est vrai que l'on a facilement accès à des recueils de méthodes et d'outils d'adaptation qui existent à l'échelle internationale (Feenstra *et al.*, 1998; Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, 2005), il n'en demeure pas moins que la plupart de ces outils visent davantage à mesurer et à évaluer les impacts qu'à faciliter la prise des décisions en matière d'adaptation.

Tel que mentionné précédemment, la plupart des outils d'aide à la décision actuellement utilisés en matière d'adaptation sont fondés sur la gestion du risque. Les initiatives décrites dans plusieurs des chapitres régionaux de la présente évaluation (p. ex., les chapitres 4 et 8) pourraient mener à la mise au point de prototypes qui seraient utiles à des collectivités de toutes les régions du pays (Mehdi *et al.*, 2006). La modélisation de l'adaptation, à laquelle s'intéressent actuellement plusieurs groupes de recherche à travers le monde (Herrod-Julius et Scheraga, 2000; Hope, 2006; Burton, 2007; Dickinson, 2007) pourrait déboucher sur la mise au point de méthodes quantitatives formelles pour évaluer les possibilités d'adaptation à un endroit donné.

3.4 EXAMINER CE QUI SE FAIT AILLEURS ET PARTICIPER À DES INITIATIVES INTERNATIONALES

Un Un pays a beaucoup à gagner à examiner ce qui se fait ailleurs dans le monde et à contribuer à des initiatives internationales; il doit faire un effort conscient pour saisir les possibilités qui s'offrent à cet égard. La plupart des problèmes auxquels fait face le Canada ne sont pas particuliers à notre pays, et de nombreuses régions du globe ont déjà subi des impacts climatiques semblables à ceux qui vont probablement se produire au Canada. Dans un examen réalisé en 2006 (Gagnon-Lebrun et Agrawala, 2006), on concluait que le Royaume-Uni, les États-Unis, l'Australie, la Nouvelle-Zélande et les Pays-Bas étaient les pays les plus avancés sur le plan de la mise en œuvre de mesures d'adaptation.

Le transfert des connaissances peut s'effectuer de diverses façons, notamment en contribuant à des initiatives internationales et en tenant des ateliers et des conférences où les participants se font part mutuellement des résultats de leurs recherches, de leurs expériences et des outils qu'ils utilisent. Ce partage des connaissances est d'ailleurs un des principaux objectifs du Programme de travail de Nairobi sur les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation au changementclimatique sous le régime de la CCNUCC (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, 2007). En outre, les entreprises canadiennes ont de plus en plus de possibilités de jouer un rôle dynamique et constructif à l'étranger dans le dossier de l'adaptation au changement climatique (Institut international du développement durable, 2003; Mitchell et Tanner, 2006). Il en va de même des acteurs impliqués en recherche-développement et au niveau de l'innovation technique et sociale.

Le Canada a aussi la responsabilité de venir en aide à d'autres pays (Gardiner, 2004), en particulier aux nations qui sont les plus touchées par le changement climatique et qui ont la plus faible capacité d'adaptation (*voir* le chapitre 9; Burton *et al.*, 2006). Cette aide peut revêtir diverses formes; elle peut consister à participer à des négociations multilatérales sous le régime de la CCNUCC et d'autres forums, ou encore à consentir une assistance bilatérale directe. Quoi qu'il en soit, elle irait dans le sens des efforts déployés par les organismes multilatéraux pour faire valoir l'importance de tenir compte du changement climatique dans l'élaboration des politiques-cadres et des programmes de développement (Banque mondiale, 2006).

En plus de leurs initiatives de recherche et de leur expérience des mesures d'adaptation, les Canadiens peuvent apprendre de l'expérience des autres pays en vue d'élaborer des politiques-cadres et de mettre au point des outils d'aide à l'adaptation (*voir* l'encadré 2).

ENCADRÉ 2

Apprendre des autres

Jusqu'à maintenant, c'est en Europe que l'on s'est employé le plus activement à se doter d'une politique d'adaptation. Des plans d'adaptation sont en vigueur ou en voie d'élaboration dans plusieurs pays.

L'Union européenne (UE) Le deuxième volet d'un programme européen sur le changement climatique (impacts et adaptation) explore le rôle de l'adaptation, le contenu d'une stratégie d'adaptation aux impacts du changement climatique inévitable et les moyens à mettre en œuvre pour seconder les efforts locaux, régionaux et nationaux (Commission européenne, 2007b). Le programme a publié un rapport intitulé *Building National Adaptation Strategies* (European Climate Change Programme, 2006). Un livre vert examine les options qui s'offrent à l'UE et souligne la nécessité d'élaborer une stratégie d'intervention cohérente pour réduire les coûts et permettre aux pays membres de prendre des mesures complémentaires en établissant des partenariats au niveau le plus approprié (Commission européenne, 2007a).

Plusieurs pays membres de l'Union européenne prennent actuellement des mesures. Ainsi :

La France a adopté une stratégie d'adaptation nationale en novembre 2006. Il s'agit d'une stratégie horizontale qui regroupe des initiatives sectorielles (agriculture, énergie et industrie, transport, bâtiment et habitat, tourisme, banques et assurances), environnementales (milieu urbain, milieu littoral et marin, montagnes, forêts) et axées sur les ressources (eau, biodiversité, santé, risques). La France procède actuellement à la mise en œuvre des mesures recommandées dans cette stratégie.

Les Pays-Bas ont élaboré un programme national d'adaptation spatiale aux changements climatiques (ARK), qui met l'accent sur l'aménagement de l'espace et la recherche de solutions aux problèmes associés à l'élévation du niveau marin. Il contient plusieurs éléments clés, notamment le rôle du gouvernement, l'intégration des décisions en matière d'adaptation dans les processus et les instruments financiers, et la conception des ouvrages physiques.

La Finlande a élaboré en 2005 une stratégie d'adaptation qui cerne les impacts du changement climatique et propose des mesures d'adaptation dans tous les secteurs clés. Elle fixe six priorités pour la période de 2006 à 2015 : 1) intégration des impacts du changement climatique et de l'adaptation dans la planification sectorielle; 2) amélioration des capacités d'adaptation aux phénomènes météorologiques extrêmes; 3) prise en considération du changement climatique dans les décisions d'investissement à long terme; 4) amélioration des systèmes d'observation et de surveillance; 5) renforcement et focalisation de la recherche-développement; et 6) établissement de liens entre ces travaux et le programme de développement international.

Le Royaume-Uni se dote d'une politique-cadre en matière d'adaptation (APF) qui tient compte des résultats de consultations publiques qui se sont déroulées entre novembre 2005 et janvier 2006. L'APF structure les rôles et les activités de différentes organisations (à partir du gouvernement central jusqu'aux citoyens) pour assurer la cohérence et l'homogénéité des mesures d'adaptation et empêcher que l'adaptation dans un secteur n'ait des répercussions négatives sur un autre secteur. Cette initiative stratégique sert de complément aux travaux qui se font au Royaume-Uni pour mettre au point des outils d'aide à la décision en matière d'adaptation (p. ex., Willows et Connell, 2003; Shaw *et al.*, 2007).

L'Espagne a créé une commission des politiques en matière de changement climatique qui, en juillet 2006, a approuvé un plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC). Ce plan encadre l'évaluation des impacts, de la vulnérabilité et de l'adaptation au changement climatique.

4 MESURES À COURT TERME

En s'appuyant sur la solide base de connaissances dont font état les chapitres précédents, on pourrait prendre un certain nombre de mesures dans l'immédiat pour continuer à faire progresser le dossier de l'adaptation au Canada.

4.1 ACCROÎTRE LA MOBILISATION ET LA COLLABORATION

Tous les chapitres de la présente évaluation font le constat qu'un large éventail d'acteurs interviennent dans l'adaptation au changement climatique (*voir également* le tableau 2). En plus de mettre en œuvre des mesures d'adaptation, les groupes communautaires, les entreprises, les organisations professionnelles et tous les ordres de gouvernement peuvent contribuer à renforcer la capacité d'adaptation.

En raison du grand nombre et de la diversité des intervenants, la reconnaissance et la clarification des rôles et des responsabilités de chacun seraient de nature à faciliter la collaboration. Il faudra probablement aussi voir à la mise en place des mécanismes nécessaires pour faciliter une coordination et une collaboration efficaces. Les mesures de ce genre sont essentielles à l'élaboration d'une approche stratégique de l'adaptation. Si l'on intègre l'adaptation aux activités en cours, on saura clairement qui mettra en œuvre les mesures ou les politiques d'adaptation, en vertu de quelle autorité et comment les coûts seront répartis. S'il faut mettre en œuvre de nouvelles initiatives, la situation pourrait être plus complexe. La clarification des responsabilités des particuliers, du secteur industriel et des divers ordres de gouvernement facilitera la planification et la mise en œuvre des mesures d'adaptation. Il pourrait être nécessaire de modifier les responsabilités au fur et à mesure que les besoins en adaptation se préciseront et se feront plus urgents.

4.2 PRÊCHER PAR L'EXEMPLE

On trouve des leaders, des innovateurs et des adopteurs précoces dans tous les segments de la société canadienne. En ce qui concerne l'adaptation au changement climatique, les gouvernements fédéral et provinciaux ont donné le ton à la recherche et au réseautage, tandis que certaines entreprises, municipalités et organisations professionnelles ont commencé à mettre en œuvre des mesures d'adaptation ou du moins à s'y préparer. Ce leadership permet de faire valoir aux autres l'importance de l'adaptation et les avantages qu'ils peuvent en retirer.

On pourrait accentuer ce leadership en adoptant une approche plus stratégique de l'adaptation. De nombreuses organisations gouvernementales et non gouvernementales auraient intérêt à réexaminer leurs politiques et leurs programmes pour évaluer leur vulnérabilité au changement climatique et leur capacité de faciliter l'adaptation. Des analyses de ce genre ont été effectuées au Royaume-Uni (p. ex., Department of Environment, Food and Rural Affairs, 2003) et d'autres gouvernements préoccupés par les impacts du changement climatique pourraient s'en inspirer. Dans le même ordre d'idées, les entreprises et les gens d'affaires auraient intérêt à s'interroger sur l'influence que le changement climatique aura probablement sur leurs opérations, leur processus de planification et leur compétitivité, influence mesurée d'après le volume des échanges commerciaux et la part du marché. Un examen général les amènerait à circonscrire les aspects de leurs opérations à analyser de façon plus détaillée et, en bout de ligne, à modifier leurs opérations, leurs programmes et leurs politiques sensibles au climat de manière à accroître leur résistance au changement climatique.

4.3 ACCROÎTRE LES CAPACITÉS INSTITUTIONNELLES

À l'heure actuelle, l'information et les conseils donnés en matière d'adaptation par plusieurs organismes publics, la collectivité scientifique et d'autres intervenants circulent dans tous les sens et, de façon générale, sans coordination. Le renforcement des capacités institutionnelles pourrait contribuer à mettre en place un processus plus cohérent et convivial grâce auquel les Canadiens auraient accès à l'information la plus fiable au sujet du changement climatique et de ses impacts sur leurs entreprises et leurs collectivités et feraient appel aux compétences idoines pour décider des mesures d'adaptation à prendre. On compte parmi les nouvelles institutions qui ont été créées pour combler cette lacune au Canada, le Consortium Ouranos (Québec), le Prairie Adaptation Research Collaborative et le Pacific Climate Impacts Consortium. Il existe beaucoup de possibilités d'améliorer la capacité des institutions en place de fournir de l'information et de prodiguer des conseils en matière d'adaptation. Par exemple, les services de vulgarisation agricole, les organismes de santé publique, les organismes de gestion de l'eau et plusieurs autres services du genre pourraient intégrer le changement climatique dans l'information et les avis qu'ils diffusent.

4.4 PROMOUVOIR ET RENDRE OBLIGATOIRES DES MESURES D'ADAPTATION

Dans certains cas, l'information et les conseils ne seront pas suffisants pour faire progresser l'adaptation, à plus forte raison s'il y a des coûts supplémentaires à payer ou s'il existe des obstacles institutionnels ou autres. Dans de telles circonstances, les gouvernements et les entreprises pourraient juger souhaitable de

prendre des mesures supplémentaires, par exemple fournir des incitatifs ou imposer des sanctions. Les gouvernements pourraient, par exemple, moduler la tarification de l'eau en fonction des utilisateurs ou encore promouvoir et récompenser une consommation d'eau plus efficace. L'industrie de l'assurance pourrait également contribuer à modifier les comportements en fonction de l'adaptation. Il existe une foule d'instruments de type commercial que l'on peut utiliser pour convaincre les gens d'adopter des pratiques d'adaptation efficaces dans divers secteurs. Dans les cas où le changement climatique présente des risques importants pour la sécurité des Canadiens, il pourrait être indiqué d'imposer des mesures d'adaptation obligatoires. Il est particulièrement important de à ce que les bâtiments et les autres éléments d'infrastructure soient construits de manière à résister au changement climatique, y compris aux phénomènes météorologiques extrêmes.

5 CONCRÉTISATION DE LA VISION

Dans le présent chapitre, on a décrit les options, les politiques et les mesures d'adaptation qui sont prises à l'heure actuelle, ou qui pourraient l'être dans la perspective d'une société adaptative et pourvue de la capacité d'adaptation. Nous nous sommes bien gardés d'adopter une approche dirigiste; d'ailleurs, aucune des recommandations du rapport ne s'applique à un lieu ou à une institution en particulier. Comme le processus d'adaptation peut prendre différentes formes selon le lieu considéré et qu'il fait intervenir un grand nombre d'acteurs, une approche trop hiérarchisée ou structurée risquerait d'inhiber la diversité des activités et des innovations qui s'imposent. Il est clair que, au fur et à mesure que les impacts climatiques se multiplieront et s'accentueront, tous les segments de la société canadienne devront tôt ou tard s'adapter. La coopération, la coordination et la solidarité sociale faciliteront l'adaptation et la suppression des barrières et des obstacles. La concrétisation de la vision présentée dans ce rapport d'évaluation implique un grand nombre de mesures et la participation d'un grand nombre d'intervenants motivés.

RÉFÉRENCES

Adger, W., N. Brooks, M. Kelly, G. Bentham, M. Agnew et S. Eriksen. *New indicators of vulnerability and adaptive capacity*, Tyndall Centre, Technical Report 7, 2004, <http://www.tyndall.ac.uk/research/theme3/final_reports/it1_11.pdf>, [consultation : 19 février 2007].

Armitage, D.R. « Community-based narwhal management in Nunavut, Canada: change, uncertainty and adaptation », *Society and Natural Resources*, vol. 18, n° 8, 2005, pp. 715-731.

Banque mondiale. *Managing climate risk: integrating adaptation into World Bank Group operations*, Le Groupe de la Banque mondiale, Global Environment Facility Program, 2006, 42 p., <http://siteresources.worldbank.org/GLOBALENVIRONMENTFACILITYGEFOPERATIONS/Resources/Publications-Presentations/GEFAdaptationAug06.pdf>, [consultation : 27 novembre 2007].

Belliveau, S., B. Bradshaw, B. Smit, S. Reid, D. Ramsey, M. Tarleton et B. Sawyer. *Farm level adaptation to multiple risks: climate change and other concerns*, University of Guelph, Department of Geography, Publication hors-série n° 27, 2006, <http://www.multiplerisks.com/results/inc/Farm- level%20adapt.pdf>, [consultation : 13 décembre 2007].

British Columbia Ministry of Forests and Range. *Future forest ecosystems initiative*, British Columbia Ministry of Forests and Range, 2007, <http://www.for.gov.bc.ca/hts/Future_Forests/>, [consultation : 23 novembre 2007].

Bruce, J., M. Egener et D. Noble. *Aperçu de la méthode de gestion du risque face aux changements climatiques au Canada*, rapport remis à Ressources naturelles Canada, Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques, 2005, <http://adaptation.nrcan.gc.ca/pdf/29156ce6051f40999f0872d838bcbbbb_f.pdf>, [consultation : 19 février 2007].

Bureau du vérificateur général du Canada. *Rapport de la commissaire à l'environnement et au développement durable à la Chambre des communes : Chapitre 2 – L'adaptation aux répercussions des changements climatiques*, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, 2006, 36 p., <http://www.oag-bvg.gc.ca/domino/rapports.nsf/html/c20060902cf.html/$file/c20060902cf.pdf>, [consultation : 18 janvier 2007].

Burton, I. « Do we have the adaptive capacity to develop and use the adaptive capacity to adapt? », dans *Climate Change, Adaptive Capacity, and Development*, B. Smit, R. Klein, R. et S. Huq (éd.), Imperial College Press, Londres, Royaume-Uni, 2003, pp. 137–161.

Burton, I. « Climate change and the adaptation deficit », dans *Climate Change: Building the Adaptive Capacity*, A. Fenech, D. MacIver, H. Auld, R. Bing Rong et Y. Yin (éd.), Environnement Canada, Service météorologique du Canada, 2004.

Burton, I. *Modelling adaptation?*, Tiempo Climate Newswatch, 2007, <http://www.tiempocyberclimate.org/newswatch/comment070212.htm>, [consultation : 16 mars 2007].

Burton, I. et M. van Aaslt. *Come hell or high water — integrating climate change vulnerability and adaptation into bank work*, World Bank, Environment Department Papers, Climate Change Series, Paper 72, 1999, <http://www.aiaccproject.org/resources/ele_lib_docs/burton_WBreport.pdf>, [consultation : 27 novembre 2007].

Burton, I., E. Diringer et J. Smith. *Adaptation to climate change: international policy options*, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, Virginie, 2006, <http://www.pewclimate.com/docUploads/PEW_Adaptation.pdf>, [consultation : 27 novembre 2007].

Carter, T.R., R.N. Jones, X. Lu, S. Bhadwal, C. Conde, L.O. Mearns, B.C. O'Neill, M.D.A. Rounsevell et M.B. Zurek. « New assessment methods and the characterisation of future conditions », dans *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2007, pp. 133–171.

CBC News. *Adapt policies to climate change, scientists say*, Canadian Broadcasting Corporation, 10 avril 2007, <http://www.cbc.ca/technology/story/2007/04/10/science-adaptation.html>, [consultation : 27 novembre 2007].

Cecil, B., H. Diaz, D. Gauthier et D. Sauchyn. *Social dimensions of the impact of climate change on water supply and use in the City of Regina*, rapport préparé par le Social Dimensions of Climate Change Working Group pour le Canadian Plains Research Centre, University of Regina, Regina, Saskatchewan, 2005, 54 p.

Churchill, J.L., M. Iqbal et J. Roberts. *Adapting to climate change: is Canada ready?*, rapport du Conference Board du Canada, 2006, 23 p.

Cline, R., J. Ragus, G. Hogan, D. Maynard, N. Foster et T. Terry. « Policies and practices to sustain soil productivity: Perspectives from the public and private sectors », *Revue canadienne de recherche forestière*, vol. 36, 2006, pp. 615–625.

Cohen, S. et T. Kulkarni (éd.). *Water management and climate change in the Okanagan Basin, BC*, Environnement Canada et University of British Columbia, Vancouver (Colombie-Britannique), 2001, 75 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/46_e.pdf>, [consultation : 27 novembre 2007].

Cohen, S. et T. Neale (éd.). *Participatory integrated assessment of water management and climate change in the Okanagan Basin, British Columbia*, Environnement Canada et University of British Columbia, Vancouver (Colombie-Britannique), 2006, 189 p., <http://adaptation.nrcan.gc.ca/projdb/pdf/a846_summary_e.pdf>, [consultation : 27 novembre 2007].

Collectivité d'Arctic Bay, S. Nickels, C. Furgal, J. Akumilik et B.J. Barnes. *Unikkaaqatigiit: putting the human face on climate change — perspectives from Arctic Bay, Nunavut*, publication conjointe du Inuit Tapiriit Kanatami, du Nasivvik Centre for Inuit Health and Changing Environments à l'Université Laval et le Ajunnginiq Centre à la National Aboriginal Health Organization, Ottawa (Ontario), 2006, 26 p.

Commission européenne. *Adaptation to climate change in Europe – options for EU action*, livre vert présenté par la Commission au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social européen et au Comité des régions: Bruxelles, Belgique, 2007a, 32 p.

Commission européenne. *European Climate Change Programme II: Impacts and Adaptation*, Commission européenne, 2007b. <http://ec.europa.eu/environment/climat/eccp_impacts.htm>, [consultation : 27 novembre 2007].

Consortium Ouranos. *Programmation scientifique*, Consortium Ouranos, 2007, <http://www.ouranos.ca/programmation/prog_f.html>, [consultation : 27 novembre 2007].

Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. *Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change*, Secrétariat de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, 2005, 155 p., <http://62.225.2.52/files/adaptation/methodologies_for/vulnerability_and_adaptation/application/pdf/consolidated_version_updated_021204.pdf>, [consultation : 20 février 2007].

Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. *The Nairobi Work Programme on Impacts, Vulnerability and Adaptation to Climate Change*, Secrétariat de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, Bonn, Allemagne, 2007, 12 p.

Department for Environment, Food and Rural Affairs. *The impacts of climate change: implications for DEFRA*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, Londres, Royaume-Uni, 2003, 31 p., <http://www.defra.gov.uk/environment/climatechange/pubs/impacts/index.htm>, [consultation : 27 novembre 2007].

Dickinson, T. *The Compendium of Adaptation Models for Climate Change: First Edition*, Environnement Canada, Division de la recherche sur l'adaptation et les impacts, (2007, 41 p.).

Downing, T. et A. Patwardhan. « Assessing vulnerability for climate adaptation », dans *United Nations Development Programme, Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures*, Cambridge University Press, New York, New York, 2005, <http://www.undp.org/gef/undpgef_publications/publications/apf%20technical%20paper03.pdf>, [consultation : 27 novembre 2007].

EBA Engineering Consultants Ltd. *Tailings management plan and preliminary design of retention structures*, rapport remis à BHP Diamonds, décembre 1995.

Egginton, P., P. Lehman, J. Casselman et M. Demuth. *On thinning ice: changing ice conditions and safety considerations for the Mississippi watershed, eastern Ontario*, Mississippi Valley Field Naturalists, Almonte (Ontario), 2007, <http://www.mvfn.ca/content/climatechange/On%20thinning%20Ice.pdf>, [consultation : 16 mars 2007].

Environnement Canada. *L'étude pan-canadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique : points saillants pour les Canadiens*, Environnement Canada, 8 volumes, 1998.

Environnement Canada. « Évaluation de la vulnérabilité, impacts des changements climatiques et mesures d'adaptation », dans *Quatrième rapport national du Canada sur les changements climatiques*, Environnement Canada, 2006, pp. 167-186.

Feenstra, J., I. Burton, J. Smith et R. Tol (éd.). *Handbook on methods for climate change impact assessment and adaptation strategies (version 2)*, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Nairobi, Kenya, 1998.

Field, C.B., L.D. Mortsch, M. Brklacich, D.L. Forbes, P. Kovacs, J.A. Patz, S.W. Running et M.J. Scott. « North America », dans *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2007, pp. 617-652.

Ford, J.D., B. Smit et J. Wandel. « Vulnerability to climate change in the Arctic: a case study from Arctic Bay, Canada », *Global Environmental Change*, 2006, vol. 16, pp. 145–160.

Gagnon-Lebrun, F. et S. Agrawala. *Progress on adaptation to climate change in developed countries: an analysis of broad trends*, rapport remis à l'Organisation pour la coopération et le développement économiques, 2006, <http://www.oecd.org/dataoecd/49/18/37178873.pdf>, [consultation : 28 novembre 2007].

Gardiner, S. « Ethics and global climate change », *Ethics*, vol. 114, n° 3, 2004, pp. 555-600.

Government of Alberta. *Water for Life: Alberta's strategy for sustainability*, Government of Alberta, 2003, <http://www.waterforlife.gov.ab.ca/docs/strategyNov03.pdf>, [consultation : 1 juin 2007].

Graham, S. et A.C. Revkin. « The climate divide », *New York Times*, 3 avril 2007, <http://www.nytimes.com/packages/html/science/20070403_CLIMATE_FEATURE/blocker.html?th&emc=th>, [consultation : 27 novembre 2007].

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for policymakers », dans *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignot et H.L. Miller (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2007a, 18 p., <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>, [consultation : 28 novembre 2007].

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Summary for policymakers », dans *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2007b, pp. 7-22, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-spm.pdf>, [consultation : 28 novembre 2007].

Harrison, M. *Road stories: ready or not — The National looks at adapting to climate change*, Canadian Broadcasting Corporation, The National, 2007, <http://www.cbc.ca/news/background/climatechange/roadstories.html>, [consultation : 27 novembre 2007].

Herrod-Julius, S. et J.D. Scheraga. « The team model for evaluating alternative adaptation strategies », dans *Research and Practice in Multiple Criteria Decision Making*, Y.Y. Haimes et R.E. Steuer (éd.), Springer-Verlag, New York, 2000, pp. 319-330.

Hope, C. « The marginal impact of CO_2 from PAGE2002: an integrated assessment model incorporating the IPCC's five reasons for concern », *The Integrated Assessment Journal- Bridging Sciences and Policy*, vol. 6, n° 1, 2006, pp. 19-56.

Institut international du développement durable. *Livelihoods and climate change: combining disaster risk reduction, natural resource management and climate change adaptation in a new approach to the reduction of vulnerability and poverty*, Institut international du développement durable, étude-cadre rédigée par le Task Force on Climate Change, Vulnerable Communities and Adaptation, 2003, <http://www.iisd.org/pdf/2003/natres_livelihoods_cc.pdf>, [consultation : 16 mars 2007].

Klein, R.J.T., M. Alam, I. Burton, W.W. Dougherty, K.L. Ebi, M. Fernandes, A. Huber-Lee, A.A. Rahman et C. Swartz. *Application of environmentally sound technologies for adaptation to climate change: a technical paper commissioned by the United Nations Framework Convention on Climate Change, Expert Group on Technology Transfer*, Secrétariat de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, Bonn, Allemagne, Technical Paper FCCC/TP/2006/2, 2006, 107 p.

Klein, R.J.T., S. Huq, F. Denton, T.E. Downing, R.G. Richels, J.B. Robinso et F.L. Toth. « Inter-relationships between adaptation and mitigation », dans *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, M.L. Parry, O.F. canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2007, pp. 745-777.

Klein, R.J.T., E.L. Schipper et S. Dessai. « Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy: three research questions », *Environmental Science and Policy*, vol. 8, 2005, pp. 579–588.

Mehdi, B., C. Mrena et A. Douglas. *S'adapter aux changements climatiques : Une introduction à l'intention des municipalités canadiennes*, Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation, 2006, 32 p., <http://www.c-ciarn.ca/pdf/ adaptations_f.pdf>, [consultation : 13 décembre 2006].

Mellgren, P.G. et E. Heidersdorf. *The use of high floatation tires for skidding in wet and/or steep terrain*, Institut canadien de recherche en génie forestier, Vancouver (Colombie-Britannique), Technical Report No. TR-57, 1984, 47 p.

Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec. *Chaleur accablante*, Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, 2006, <http://www.msss.gouv.qc.ca/sujets/santepub/environnement/index.php?chaleur_accablante_rayons_uv>, [consultation : 2 mai 2007].

Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick. *Politique de protection des zones côtières pour le Nouveau-Brunswick*, ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick, 2002, 18 p., <http://www.gnb.ca/0009/0371/0002/Coastal-Fpdf>, [consultation : 23 janvier 2007].

Mitchell, T. et T. Tanner. *Adapting to climate change: challenges and opportunities for the development community*, Institute of Development Studies, 2006, 40 p., <http://www.tearfund.org/webdocs/website/Campaigning/policy%20and%20research/Adapting%20to%20climate%20change%20discussion%20paper.pdf>, [consultation : 20 décembre 2006].

Nichols, S., C. Furgal, J. Castelden, P. Moss-Davies, M. Buell, B. Armstrong, D. Dillon et R. Fongerm. « Putting the human face on climate change through community workshops », dans *The Earth is Faster Now: Indigenous Observations of Arctic Environmental Change*, I. Krupnik et D. Jolly (éd.), Arctic Research Consortium of the United States, Arctic Studies Centre, Smithsonian Institution, Washington, DC, 2002, pp. 301-333.

Pederson, L. *Prince George timber supply area: rationale for allowable annual cut AAC determination*, BC Ministry of Forests, Forest Analysis and Inventory Branch, Victoria (Colombie-Britannique), 2004, <http://www.for.gov.bc.ca/hts/tsr1/ration/tsa/tsa24/httoc.htm>, [consultation : 20 mai 2007].

Pielke, R., Jr., G. Prins, S. Rayner et D. Sarewitz. « Climate change 2007: lifting the taboo on adaptation », *Nature*, n° 445, 2007, pp. 597-598, <http://www.nature.com/nature/journal/v445/n7128/full/445597a.html>, [consultation : 27 novembre 2007].

Programme des Nations Unies pour le développement. *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures*, Cambridge University Press, New York, New York, 2005.

Programme européen sur le changement climatique. *European Climate Change programme : Working Group II Impacts and Adaptation : Building National Adaptation Strategies Sectoral Report*, 2006, <http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/eccp/impactsadaptation/natstrategies.pdf>, [consultation : 10 décembre 2007].

Rainham, D.G.C., K.E. Smoyer-Tomic, S.C. Sheridan et R.T. Burnett. « Synoptic weather patterns and modification of the association between air pollution and human mortality », *International Journal of Environmental Health Research*, vol. 15, n° 5, 2005, pp. 347-360.

Red Cross/Red Crescent Climate Centre. « Addressing the consequences of climate change », dans *Annual Report 2006: Addressing the humanitarian consequences of climate change*, 2007, <http://www.climatecentre.org/downloads/File/reports/annual%20report%202006.pdf>, [consultation : 10 décembre 2007].

Réseau des scénarios canadiens d'impacts du climat. *Scénarios canadiens d'impacts du climat : le réseau*, 2004, <http://www.ccsn.ca/network/intro-f.html>, [consultation : 28 novembre 2007].

Ressources naturelles Canada. *Étude sur les effets du changement climatique à Vanderhoof*, Ressources naturelles Canada, 2005, <http://nofc.cfs.nrcan.gc.ca/climate/fr/factsheets/factsheet21_f.html>, [consultation : 26 novembre 2007].

Risbey, J. « Sensitivities of water supply planning decisions to streamflow and climate scenario uncertainties », *Water Policy*, vol. 1, 1998, pp. 321-340.

Risbey, J., M. Kandlikar et H. Dowlatabadi. « Scale, context, and decision making in agricultural adaptation to climate variability and change », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, 1999, pp. 137-165.

Sauchyn, D., J. Byrne, N. Henderson, D. Johnson, M. Johnston, S. Keinzle et E. Wheaton. *Assessment of Biophysical Vulnerability*, rapport final rédigé pour Alberta Environment, Alberta Vulnerability Assessment Project, sous presse, 79 p.

Scott, D. *Climate change and tourism in the mountain regions of North America*, 1re Conférence internationale sur le changement climatique et le tourisme, tenue du 9 au 11 avril 2003 à Djerba, Tunésie, 2003, 9 p., <http://www.world-tourism.org/sustainable/climate/pres/daniel-scott.pdf>,[consultation : 22 janvier 2007].

Seguin, J. *Human health in a changing climate: a Canadian assessment of vulnerabilities and adaptive capacity*, Santé Canada, Ottawa (Ontario), sous presse.

Shaw, R., M. Colley et R. Connell. *Climate change adaptation by design*, Town and Country Planning Association, Londres, Royaume-Uni, 2007, <http://www.tcpa.org.uk/downloads/20070523_CCA_lowres.pdf>, [consultation : 27 novembre 2007].

Shimo, A. (2007) « Nicer wines, a bit of malaria », *Macleans*, 26 février 2007, pp. 18-20.

Smit, B. et J. Wandel. « Adaptation, adaptive capacity and vulnerability », *Global Environmental Change*, vol. 16, 2007, pp. 282-292.

Smit, B., I. Burton, R. Klein et R. Street. « The science of adaptation: a framework for assessment », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 4, 1999, pp. 199-213.

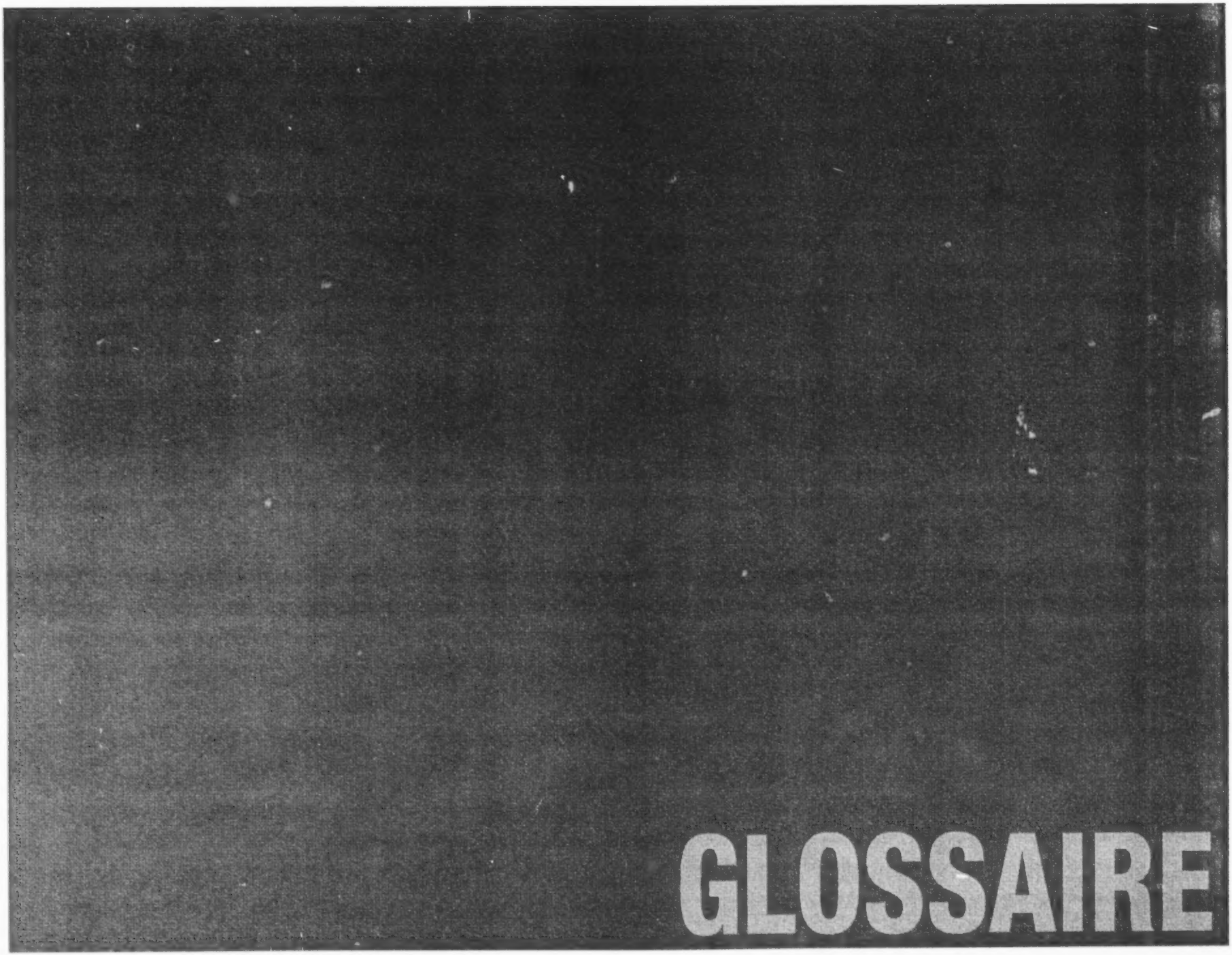
Smit, B., I. Burton, R. Klein et J. Wandel. « An anatomy of adaptation to climate change and variability », *Climatic Change*, vol. 45, n° 1, 2000, pp. 223-251.

Stern, N. *The economics of climate change: the Stern review*, Cambridge University Press, New York, New York, 2006, 712 p.

Summit En...onmental. *Trepanier Landsc...pe Unit Water Management Plan*, Regional District of Central Okanagan, Kelowna (Colombie-Britannique), 2004, 256 p., <http://www.regionaldistrict.com/docs/planning/Final_Report_Text.pdf>, [consultation : 20 mai 2007].

Willows, R. et R. Connell. *Climate adaptation: risk, uncertainty and decision-making*, United Kingdom Climate Impacts Program, Technical Report, 2003, 162 p., <http://environment.msu.edu/climatechange/UK_CC_Decisions_Report.pdf>, [consultation : 27 novembre 2007].

Wittrock, V. et G. Koshida. *Canadian droughts of 2001 and 2002: government response and safety net programs — agriculture sector*, Saskatchewan Research Council, Saskatoon (Saskatchewan), Publication 11602-2E03, 2005, 24 p.


GLOSSAIRE

Adaptation
Accommodation des systèmes naturels ou des systèmes humains aux stimuli climatiques réels ou prévus ou à leurs effets, afin d'en atténuer les inconvénients ou d'en exploiter les avantages. On distingue plusieurs sortes d'adaptation, notamment l'adaptation anticipatoire, autonome et planifiée.[1*]

Albédo
Fraction du rayonnement solaire réfléchie par une surface ou par un objet, souvent exprimée en pourcentage. Les surfaces enneigées ont un albédo élevé, et les surface couvertes de végétation et les océans un albédo faible.[2*]

Anthropique
Résultant des activités humaines ou produit par les êtres humains.[1*]

Approche écosystémique (gestion axée sur les écosystèmes)
Stratégie de gestion intégrée des ressources pédologiques, hydriques et biologiques visant à favoriser leur conservation et leur utilisation durable de façon équitable. L'approche systémique est basée sur l'application de méthodes scientifiques appropriées, axées sur la structure, les processus, les fonctions et les interactions essentiels propres aux organismes et à leur environnement. Elle considère que les êtres humains, dotés de leur diversité culturelle, font partie intégrante de nombreux écosystèmes.[1]

Atténuation
Dans le contexte du changement climatique, l'atténuation désigne une intervention humaine visant à réduire le forçage anthropique du système climatique; elle comprend des stratégies visant à réduire les sources et les émissions de gaz à effet de serre et à renforcer l'efficacité des puits de gaz à effet de serre.[1]

Avantages des mesures d'adaptation
Dépenses d'indemnisation évitées ou avantages résultant de l'adoption et de la mise en œuvre de mesures d'adaptation.[1]

Capacité d'adaptation
La totalité des possibilités, des ressources et des institutions propres à un pays, une région, une collectivité ou un groupe, servant à mettre en œuvre des mesures efficaces d'adaptation.[3*]

Capital social
L'ensemble des ressources réelles ou potentielles qui peuvent être mobilisées par des rapports sociaux et par l'adhésion à des réseaux sociaux.[4]

Changement climatique
Le changement climatique désigne un changement de l'état du climat qui peut être identifié (p. ex., à l'aide d'essais statistiques) par des changements de la moyenne ou de la variabilité de ses propriétés, et qui persiste pendant une période prolongée, typiquement des décennies, voire plus longtemps. Le changement climatique peut être dû à des processus internes normaux ou à des forces externes, ou à des changements anthropiques persistants dans la composition de l'atmosphère ou de l'utilisation des terres. Il est à noter que la Convention-cadre des Nation Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) définit le changement climatique comme étant un « changement attribué directement ou indirectement à une activité humaine susceptible d'altérer la composition de l'atmosphère mondiale et qui vient s'ajouter à la variabilité naturelle du climat constatée au cours de périodes comparables». La CCNUCC établit ainsi une distinction entre le changement climatique attribuable aux activités humaines susceptibles d'altérer la composition de l'atmosphère et la variabilité du climat attribuable à des causes naturelles.[1]

Climat
Au sens étroit du terme, le climat désigne de façon générale le «temps moyen» ou, plus précisément, se réfère à une description statistique fondée sur la moyenne et la variabilité de données pertinentes sur des périodes allant de quelques mois à des milliers, voire des millions, d'années. Ces données sont le plus souvent des variables de surface telles que la température, les précipitations et le vent. Au sens élargi du terme, le climat désigne l'état du système climatique, et peut même en être une description statistique.[1*]

Collectivités dépendantes des ressources
La dépendance aux ressources est une mesure de l'importance relative pour une collectivité donnée d'un secteur (ou des secteurs) des ressources, plus spécifiquement par rapport aux revenus d'emploi que procure directement la mise en valeur, le traitement et (dans certains cas) la répartition de ces ressources. Les catégories de collectivités tributaires des ressources s'échelonnent des collectivités « modérément dépendantes » (30 à 49,9 p. 100 des revenus d'emploi proviennent d'activités liées aux ressources) aux collectivités « entièrement dépendantes » (80 p. 100 et plus).[3*]

Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC)
Convention adoptée le 9 mai 1992 à New York et signée en 1992 lors d'un sommet à Rio de Janeiro par plus de 150 pays et par la Communauté européenne. Son objectif ultime est de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau susceptible d'empêcher les perturbations de nature anthropique du système climatique de devenir dangereuses. Elle contient des engagements pour toutes les Parties. La Convention est entrée en vigueur en mars 1994. Voir également Protocole de Kyoto.[1*]

Coûts des mesures d'adaptation
Coûts de la planification, de l'élaboration, de la préconisation et de l'application des mesures d'adaptation, y compris les coûts de transitions.[1]

Cryosphère
Composante du système climatique constituée de la totalité de la neige, de la glace et du sol gelé (y compris le pergélisol) à la surface et sous la surface des terres émergées et des océans.[1]

Documentation dite « grise »
Dans le contexte de l'information scientifique et technique, la documentation dite « grise » désigne des publications électroniques et d'impression non éditées commercialement ou non cataloguées

par les fournisseurs principaux de base de données. Ce type de documentation peut être de nature éphémère et d'importance ou de qualité incertaine mais, de temps en temps, s'avère l'unique source d'information portant sur des questions spécifiques. Elle n'est habituellement pas sujette à l'examen par les pairs et doit, en conséquence, être contrôlée.[6]

Données indirectes du climat
Relevé établi à un endroit donné qui est interprété selon des principes physiques et biophysiques afin de révéler les combinaisons de variations d'ordre climatique survenues dans le passé qu'il représente. Les données relatives au climat obtenues de cette manière sont appelées données indirectes. Les relevés dendrochronologiques (relatifs aux anneaux de croissances des arbres), les caractéristiques des coraux et diverses données obtenues à partir des carottes de glace sont des exemples de données indirectes.[2]

Écoservices
Processus ou fonctions écologiques qui représentent un intérêt, pécuniaire ou non, pour des individus ou pour une société dans son ensemble. On distingue: 1) les services de soutien tels que le maintien de la productivité ou de la biodiversité; 2) les services d'approvisionnement, par exemple en aliments, en fibres ou en poisson; 3) les services de régulation tels que la régulation climatique ou le piégeage du carbone, et 4) les services culturels tels que le tourisme ou les activités de caractère spirituel et esthétique.[3]

Écosystème
Système interactif composé de tous les organismes vivants et de leur milieu abiotique (physique et chimique) dans une zone donnée. Les écosystèmes correspondent à des échelles spatiales très variables.[1]

Écotone
Zone de transition entre des communautés écologiques adjacentes (p. ex., entre une forêt et une prairie).[3]

Effet de serre
Processus par lequel l'absorption du rayonnement infrarouge par l'atmosphère réchauffe la Terre. En langage ordinaire, le terme « effet de serre » peut s'appliquer soit à l'effet de serre naturellement produit par les gaz a effet de serre, soit à l'effet de serre accru (anthropique) dû aux gaz résultant des activités humaines.[1]

Élévation du niveau de la mer
Augmentation du niveau moyen de l'océan. L'élévation eustatique du niveau de la mer est l'élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale dû à une augmentation du volume des océans. L'élévation relative du niveau de la mer correspond à une augmentation locale du niveau de l'océan par rapport à la terre, qui peut être provoquée par la montée des eaux océaniques ou par une subsidence des terres émergées. Dans les zones sujettes à de rapides soulèvements des terres, le niveau relatif de la mer peut s'abaisser.[1]

El Niño-oscillation australe (El Niño-Southern Oscillation ou ENSO)
El Niño, au sens original du terme, est le nom donné à un courant marin chaud qui se manifeste périodiquement le long de la côte de l'Équateur et du Pérou. Ce phénomène océanique a depuis été lié à un réchauffement général de la partie tropicale du bassin Pacifique située à l'est de la ligne de changement de date; il est en outre associé à la fluctuation d'un régime de pression en surface de nature tropicale et subtropicale à l'échelle planétaire connu sous le nom d'« oscillation australe ». Le couplage de ces phénomènes atmosphérique et océanique, dont la plage temporelle s'étend de deux à environ sept ans, porte le nom d'El Niño-oscillation australe (El Niño-Southern Oscillation ou ENSO). Lors d'un épisode ENSO, les alizés dominants faiblissent et causent une modification des courants océaniques entraînant un réchauffement des températures de la mer en surface, ce qui a pour effet d'affaiblir davantage les alizés. Ce phénomène a des incidences importantes sur le vent, la température de la mer en surface et les régimes de précipitation dans la région tropicale du Pacifique. Les effets climatiques se répercutent dans toute la région du Pacifique et dans nombre de régions du monde grâce aux téléconnections planétaires. On appelle La Niña la phase froide inverse de l'ENSO.[1]

Éradication
La disparition d'une espèce d'une partie de son aire de répartition; extinction locale.[1]

Étude pan-canadienne
Publié en 1998, l'Étude pan-canadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique était la première évaluation canadienne des impacts possibles du changement et de la variabilité du climat, et tenait aussi compte des réponses adaptatives en place et potentielles. Cette évaluation était axée sur l'examen de la documentation scientifique et technique disponible réalisé par le biais d'une série d'études commissionnées et d'ateliers régionaux.[7]

Évapotranspiration
Processus combiné d'évaporation à la surface de la terre et de transpiration de la végétation.[1]

Exposition
La nature et le degré auxquels un système est exposé à des variations climatiques significatives.[8]

Gaz à effet de serre (GES)
Constituants gazeux de l'atmosphère, tant naturels qu'anthropiques, qui absorbent et émettent un rayonnement à des longueurs d'onde données du spectre du rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre, l'atmosphère et les nuages. La vapeur d'eau (H_2O), le dioxyde de carbone (CO_2), l'oxyde nitreux (N_2O), le méthane (CH_4) et l'ozone (O_3) sont les principaux gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère terrestre. L'atmosphère contient, en outre, nombre de gaz de serre produits entièrement par l'activité humaine, tels que les halocarbones et toute autre substance contenant du chlore et du brome.[1]

Gestion des urgences
Ensemble des activités et des mesures visant la gestion des risques de catastrophes de toute nature (naturelle ou dues à l'activité humaine) et couvrant tous les aspects de la prévention et de l'atténuation, de la préparation, de l'intervention et du rétablissement. Le terme « atténuation » dans ce contexte désigne les mesures à caractère permanent adoptées en vue d'éliminer ou de réduire les risques et les effets potentiels des aléas bien avant que le désastre ou l'urgence comme tel n'ait lieu. Les mesures d'atténuation peuvent être considérées comme étant généralement synonyme d' « adaptation » dans un contexte de changement climatique.[9*]

Gestion du risque
Une approche systématique visant à identifier la meilleure ligne de conduite à adopter en régime d'incertitude, déterminée par l'application de politiques, de procédures et de pratiques de gestion à l'analyse, l'évaluation, le contrôle, et la communication des questions relatives au risque.[10]

Glace de mer
Toute forme de glace présente en mer et provenant de la congélation de l'eau de mer. Il peut s'agir de morceaux distincts (floes) qui se déplacent à la surface de l'océan sous l'effet du vent et des courants (banquise dérivante) ou d'une plateforme immobile rattachée à la côte (banquise côtière). La glace de mer de moins d'un an est appelée glace de l'année. On appelle glace pluriannuelle la glace ayant survécu à au moins une période de fonte estivale.[2]

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)
Commission établie en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) avec fonction d'évaluer les informations d'ordre scientifique, technique et socio-économique nécessaires à la meilleure compréhension du changement climatique, des conséquences possibles de ce changement et des stratégies éventuelles d'adaptation et d'atténuation.[11]

Impacts (du changement climatique)
Effets défavorables et bénéfiques du changement climatique sur les systèmes naturels et les systèmes humains. Selon que l'on tient compte ou non de l'adaptation, on peut établir une distinction entre impacts potentiels et impacts résiduels.[1*]

Incertitude
Expression du degré auquel une valeur demeure inconnue. L'incertitude peut provenir d'un manque d'information ou d'un désaccord sur ce qui est connu, voire connaissable. Elle peut avoir des origines diverses et résulter ainsi d'erreurs chiffrables dans les données, d'une définition trop imprécise des concepts ou de la terminologie employés ou encore de projections incertaines du comportement humain. L'incertitude peut donc être représentée par des mesures quantitatives (p. ex., un ensemble de valeurs calculées à l'aide de divers modèles) ou par des énoncés qualitatifs (p. ex., expression de l'opinion d'une équipe d'experts).[1*]

Infiltration d'eau salée
Phénomène par lequel de l'eau salée, plus dense, repousse des eaux douces de surface ou souterraines, généralement dans des zones côtières ou estuariennes, soit en raison d'une diminution de l'influence continentale (p. ex., du fait d'une réduction du ruissellement et de l'alimentation connexe de la nappe phréatique ou encore d'un prélèvement excessif d'eau dans les aquifères), soit en raison d'une influence maritime croissante (p. ex., du fait de l'élévation relative du niveau de la mer).[1]

Infrastructure essentielle
Les installations, réseaux, moyens et biens physiques, et ceux liés au domaine de la technologie de l'information, dont la défaillance ou la destruction entraînerait de graves répercussions sur la santé, la sécurité ou le bien-être économique de la population, ou encore sur le bon fonctionnement des gouvernements du pays.[12*]

Institutions
Les règles et les normes qui régissent comment les gens au sein de sociétés vivent, fonctionnent, et agissent les uns par rapport aux autres. Les institutions formelles sont des règles codifiées telles que la constitution, les marchés organisés, ou les droits de propriété. Les institutions informelles sont des règles régies par les normes sociales ou comportementales respectées au sein d'une famille, d'une collectivité ou d'une société.[13]

Intégration
Dans le contexte de l'adaptation, l'intégration (« mainstreaming ») se rapporte à la prise en considération de l'adaptation (ou des risques d'ordre climatique) de façon à ce que ce concept fasse partie des politiques, des programmes, et des opérations élaborés à tous les niveaux du processus de prise de décisions. Le but est de faire du processus d'adaptation une composante des cadres de prise de décisions et de planification en place.[14]

Intervenant
Personne ou organisation ayant un intérêt légitime dans un projet ou une entité ou qui pourrait subir les effets de certaines mesures ou politiques.[1]

Maladie à transmission vectorielle
Maladie, notamment le paludisme, la dengue et la maladie de Lyme, transmise entre hôtes par un vecteur (p. ex., moustique ou tique).[1*]

Mauvaise adaptation
Tout ajustement délibéré survenant dans les systèmes naturels ou humains qui augmente par inadvertance la vulnérabilité au stimulus climatiques; une adaptation qui ne réussit pas à réduire la vulnérabilité mais, au contraire, l'augmente.[8*]

Mesures politiques
Les moyens de traiter d'un problème et d'atteindre les buts stratégiques voulus auxquels les gouvernements peuvent avoir recours pour changer des structures socio-économiques et des comportements aussi bien individuels que collectifs. De telles

mesures comprennent la fourniture de l'information, des directives volontaires ainsi que des codes et normes, des règlements et des mécanismes de marché (p. ex., dispositions visant les échanges d'émissions et celles prises en vue de fixer le prix et attribuer les ressources hydriques).[14]

Modèle climatique
Représentation numérique du système climatique basée sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composantes et leurs processus, aussi bien d'interaction que de rétroaction, et qui tient compte de la totalité ou d'une partie de ses propriétés connues. Le système climatique peut être représenté par des modèles de complexité variable. Les modèles de circulation générale à couplage atmosphère-océan (MCGAO) fournissent une représentation d'ensemble du système climatique. Les modèles plus complexes incorporent des éléments chimiques et biologiques actifs.[17]

Modèle de circulation générale à couplage atmosphère-océan
voir Modèle climatique.

Normale climatique
Des calculs arithmétiques basés sur les valeurs observées pour un lieu donné au cours d'une une période spécifiée et servent à décrire les caractéristiques climatiques du lieu. L'Organisation météorologique mondiale (OMM) estime qu'une période de 30 ans suffit à éliminer les variations qui surviennent d'année en année. Aussi, la période climatologique standard de l'OMM utilisée pour le calcul des normales correspond à des périodes consécutives de 30 ans (p. ex., du 1er janvier 1901 au 31 décembre 1930) et devrait être mise à jour chaque décennie.[15]

Obstacle (à l'adaptation)
Toute entrave empêchant d'atteindre un potentiel d'adaptation et susceptible d'être surmontée ou atténuée par une politique, un programme ou une mesure.[3]

Onde de tempête
Terme qui désigne habituellement une élévation temporaire du niveau de la mer, à un endroit donné, en raison de conditions météorologiques extrêmes (basse pression atmosphérique ou vents forts). L'onde de tempête est définie comme étant la différence entre la marée effective et la marée habituellement prévue à l'endroit et moment considérés. Des ondes de tempête à effet négatif peuvent aussi se produire et peuvent causer des problèmes sérieux à la navigation.[2]

Oscillation nord-atlantique
(North Atlantic Oscillation ou NAO)
L'oscillation nord-atlantique (North Atlantic Oscillation ou NAO) consiste en des variations contraires de la pression barométrique se manifestant près de l'Islande et des Açores. C'est le mode dominant de variabilité hivernale du climat dans la région de l'Atlantique Nord.[1]

Outils (propres à l'adaptation)
Les méthodologies, les directives, et les processus qui permettent aux intervenants d'évaluer les implications des impacts du changement climatique et des options appropriées d'adaptation dans le contexte de leur environnement de fonctionnement. Les outils peuvent prendre différentes formes et fonctionner de différentes façons : des méthodes horizontales ou multidisciplinaires (p. ex., modèles climatiques, méthodes servant à élaborer des scénarios, analyse des intervenants, outils d'aide à la prise de décisions ou d'analyse du même processus) aux applications sectorielles très précises (p. ex., modèles de récoltes ou de végétation, méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des zones côtières).

Pergélisol
Sol (sol proprement dit ou roche, y compris la glace et les substances organiques) dont la température reste égale ou inférieure à 0°C pendent au moins deux années consécutives.[2]

Période de récurrence
Le temps moyen qui doit s'écouler jusqu'à la prochaine occurrence d'un événement défini. Lorsque celui-ci fait preuve d'une distribution géométrique, la période de récurrence est égale à l'inverse de la probabilité que l'événement se produira au cours de la prochaine période de temps (c.-à-d., $T = 1/P$, où T est la période de retour, en nombre des intervalles de temps, et P est la probabilité de la prochaine occurrence de l'évènement dans un intervalle de temps donné).[16]

Phénologie
L'étude des phénomènes naturels qui se produisent périodiquement (p. ex., des étapes de développement, migration) et de leur relation au climat et aux changements saisonniers.[1]

Phénomène météorologique extrême
Un événement rare selon les statistiques relatives à sa fréquence en un lieu donné. Si les définitions du mot « rare » varient considérablement, un phénomène météorologique extrême devrait normalement être aussi rare, sinon plus, que les dixième ou quatre-vingt-dixième percentiles. Par définition, les caractéristiques de ce qu'on appelle « condition météorologique extrême » varient d'un endroit à l'autre.[17]

Plage de tolérance
La variation des stimuli climatiques qu'un système peut subir sans qu'il y ait d'impacts significatifs. On utilise également l'expression « capacité de faire face ».[8]

Politique/mesure de type « sans regrets »
Politique ou mesure procurant des avantages nets sur le plan social et économique, que se produise ou non le changement climatique.[17]

Projection climatique
Réponse calculée du système climatique à des scénarios d'émissions ou de concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols ou à des scénarios de forçage radiatif, souvent fondée sur des simulations établies à l'aide de modèles climatiques. Les projections climatiques reposent sur des hypothèses concernant, par exemple, l'évolution socio-économique et technologique future qui peut ou peut ne pas se produire et, par conséquent, elles sont accompagnées d'un haut degré d'incertitude.[14,17]

Protocole de Kyoto
Le Protocole de Kyoto a été adopté en 1997 à Kyoto (Japon), lors de la troisième séance de la Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Il comporte des engagements contraignants en plus de ceux qui figurent dans la CCNUCC. Le Protocole de Kyoto est entré en vigueur le 16 février 2005.[1*]

Réduction d'échelle
Méthode permettant d'obtenir des informations à l'échelle locale ou régionale (10 à 100 km) à partir de modèles ou d'analyses de données à plus grande échelle.[1]

Renforcement des capacités
En matière d'adaptation au changement climatique, le renforcement des capacités consiste à améliorer les compétences techniques et les moyens institutionnels des intervenants, afin de leur permettre de participer à toutes les initiatives destinées, notamment, à favoriser l'adaptation au changement climatique et la recherche sur ce sujet.[1*]

Résilience
Capacité d'un système social ou écologique d'absorber des perturbations tout en conservant sa structure de base et ses modes de fonctionnement ainsi que sa capacité de s'organiser et de s'adapter au stress et au changement.[1]

Rétroaction
Un mécanisme d'interaction entre les processus d'un système est appelé rétroaction lorsque le résultat d'un processus initial provoque, dans un second processus, des changements qui agissent à leur tour sur le processus initial. Une rétroaction positive renforce le processus initial, et une rétroaction négative l'atténue.[1]

Risque
Une combinaison de la probabilité (probabilité d'occurrence) et des conséquences d'un événement défavorable (p. ex., danger relié au climat).[14]

Route d'hiver
Une chaussée saisonnière construite chaque année sur le sol et les plans d'eau gelés qui fournit l'accès à des collectivités et des emplacements d'extraction des ressources non desservis par des routes permanentes. Connue également sous le nom de route saisonnière et, aux endroits où elle traverse exclusivement des corps d'eau gelés, chemin de glace.

Savoir traditionnel
Un corps cumulatif de connaissances, de pratiques et de croyances sur la relation des êtres vivants (y compris les êtres humains) les uns avec les autres ainsi qu'avec leur milieu. Il est le produit de l'évolution de processus d'adaptation et se trouve transmis de génération en génération grâce aux pratiques culturelles.[17]

Scénario
Description vraisemblable et souvent simplifiée de ce qui peut se produire à l'avenir, fondée sur un ensemble cohérent et intrinsèquement homogène d'hypothèses concernant les principales relations et forces motrices en jeu. Les scénarios peuvent être établis à partir de projections, mais sont souvent fondés sur des informations complémentaires provenant d'autres sources, parfois accompagnées d'un « canevas circonstancié » du sujet en question.[1]

Scénario climatique
Représentation vraisemblable et souvent simplifiée du climat futur, fondée sur un ensemble cohérent et intrinsèquement homogène de relations climatiques et d'hypothèses concernant le forçage radiatif. Les scénarios climatiques sont généralement destinés à servir explicitement d'entrées pour des modèles d'impacts du changement climatique. Un « scénario de changement climatique » correspond à la différence entre un scénario climatique et le climat actuel.[1]

Scénario d'émissions
Représentation plausible de l'évolution future des émissions de substances potentiellement actives du point de vue radiatif (p. ex., gaz à effet de serre, aérosols), basée sur un ensemble cohérent et intrinsèquement homogène d'hypothèses concernant les éléments moteurs (p. ex., l'évolution démographique et socio-économique, le progrès technologique) et leurs interactions principales. Les scénarios de concentration ont été établis à partir de scénarios d'émissions et servent de données d'entrée à un modèle climatique utilisé pour calculer des projections climatiques.[1*]

Scénarios du RRSE (SRES)
Canevas et scénarios connexes concernant la population, le PIB et les émissions figurant dans le Special Report on Emissions Scenarios (SRES, soit Rapport spécial sur les scénarios d'émissions), ainsi que les scénarios dérivés portant sur le changement climatique et l'élévation du niveau de la mer. Quatre familles de scénarios socio-économiques (A1, A2, B1 et B2) font intervenir deux dimensions distinctes pour présenter les conditions qui pourraient se manifester à l'avenir à l'échelle planétaire; il s'agit des préoccupations économiques par opposition aux préoccupations environnementales et de la mondialisation par opposition aux modes de développement régionaux.[1*]

Sécheresse
Phénomène qui se produit lorsque les précipitations sont sensiblement inférieures aux niveaux normaux enregistrés et qui provoque des déséquilibres hydrologiques importants souvent défavorables aux systèmes de production et aux ressources terrestres. Il y a plusieurs façons de définir la sécheresse (p. ex., sécheresse agricole, sécheresse météorologique et sécheresse hydrologique). On considère une sécheresse sérieuse une sécheresse prolongée et très répandue qui dure beaucoup plus longtemps que la normale, habituellement une décennie ou plus.[1,3*]

Sécurité alimentaire
Situation dans laquelle les personnes ont accès assuré à une nourriture saine et nutritive en quantités suffisantes pour leur

garantir une croissance normale et une vie saine et active. L'insécurité alimentaire peut résulter d'un manque de nourriture, d'un pouvoir d'achat insuffisant, de problèmes de distribution ou d'une mauvaise utilisation des aliments dans les ménages.[1]

Sensibilité
Degré auquel un système est touché, de façon favorable ou défavorable, par la variabilité du climat ou le changement climatique. Les effets peuvent être directs (p. ex., la modification des rendements agricoles due à un changement de la valeur moyenne, de l'amplitude ou de la variabilité de la température) ou indirects (p. ex., les dommages causés par une augmentation de la fréquence des inondations côtières en raison d'une élévation du niveau de la mer).[1]

Seuil
Degré d'ampleur d'un processus systémique auquel survient un changement soudain ou rapide. Point ou niveau auquel un système écologique, économique ou autre acquiert des propriétés nouvelles, lesquelles infirment les prévisions fondées sur des relations mathématiques qui sont valides à des niveaux inférieurs.[1]

Situation de départ (ou de référence)
Situation par rapport à laquelle un éventuel changement est mesuré. Il peut s'agir d'une «situation de départ actuelle», c'est-à-dire de conditions actuelles constatables, ou d'une « situation de départ future » correspondant à un ensemble projeté de conditions futures, à l'exception du principal facteur d'intérêt. D'autres interprétations des conditions de référence peuvent donner lieu à de multiples situations de départ.[1]

Stress hydrique
Une région est soumise à un stress hydrique lorsque le taux d'alimentation en eau douce par rapport à celui des prélèvements auxquels elle est sujette font en sorte que son développement risque de s'en trouver sérieusement ralenti. Des prélèvements d'eau représentant plus de 20 p. 100 de l'alimentation en eau renouvelable sont considérés comme un indice de stress hydrique. Les cultures sont soumises à un stress hydrique si l'humidité du sol, donc l'évapotranspiration effective, est inférieure à ses besoins potentiels.[17]

Système
Une entité constituée de composantes diverses, mais reliées, qui fonctionnent comme un ensemble complexe. Il s'agit, par exemple, du système climatique, des écosystèmes et des économies de marché.[18]

Système climatique
Système défini par la dynamique et les interactions de cinq éléments principaux : l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la surface terrestre et la biosphère. Le système climatique évolue sous l'effet de sa propre dynamique interne et de forçages externes telles que les éruptions volcaniques, les variations de l'activité solaire ou les modifications d'origine anthropique de l'équilibre planétaire des effets radiatifs (p. ex., provoquées soit par les émissions de gaz à effet de serre dues à l'activité humaine, soit par des changements au niveau de l'utilisation des terres, ou les deux).[1]

Technologie (utiles à l'adaptation)
Technologies qui, une fois mises en œuvre ou appliquées, cherchent à rendre possible l'adaptation. Il s'agit de méthodes «matérielles» (p. ex., de nouveaux systèmes d'irrigation ou des semences résistant à la sécheresse) et de technologies « souples » (p. ex., des régimes d'assurance ou des processus de planification); elles peuvent aussi être une combinaison des deux (p. ex., les systèmes de détection précoce qui combinent des appareils de mesure avec la connaissance et les compétences de façon à contribuer à une meilleure sensibilisation tout en motivant l'adoption de mesures appropriées).[19]

Temps
Le temps est l'état de l'atmosphère à un moment et à un endroit donné pour ce qui est de la température, de la pression atmosphérique, de l'humidité, du vent, de la nébulosité et des précipitations. Le terme « temps » sert surtout à désigner des conditions à court terme.[20]

Urbanisation
Conversion de terres à l'état naturel, exploitées (à des fins agricoles, par exemple) ou non, en zones urbaines ; le processus va de pair avec un exode rural aux termes duquel une proportion croissante de la population de toute nation ou région se déplace pour venir s'installer dans des établissements que l'on désigne, par la suite, du nom de « centres urbains ».[1]

Variabilité décennale dans le Pacifique (Pacific Decadal Oscillation ou PDO)
Mesure statistique de la variabilité décennale à interdécennale couplée de la circulation atmosphérique et de l'océan dans le bassin du Pacifique. Cette variabilité est particulièrement marquée dans le Pacifique Nord, où des fluctuations de la force du système dépressionnaire hivernal des Aléoutiennes sont en corrélation avec les variations de la température à la surface de la mer dans le Pacifique nord et sont liées à des variations décennales de la circulation atmosphérique, de la température de la mer en surface et de la circulation océanique dans le bassin du Pacifique. Ces fluctuations modulent le cycle du phénomène El Niño–oscillation australe.[21]

Variabilité du climat
Variation de l'état moyen et d'autres statistiques (p. ex., écarts-types, phénomènes extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà de la variabilité propre à des phénomènes météorologiques isolés. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique ou à des variations des forçages externes naturels ou anthropiques.[1]

Vulnérabilité
Mesure dans laquelle un système est sensible – et incapable de faire face – aux effets défavorables du changement climatique, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité au changement climatique est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme de la variation du climat à laquelle le système considéré est exposé, de la sensibilité de ce système et de sa capacité d'adaptation.[1]

1. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Appendix I : glossary », dans *Climate Change 2007 : Impacts, Adaptation and Vulnerability*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2007 pp. 869-883, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-app.pdf>, [consultation : 9 janvier 2008].

2. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Annex I: glossary », dans Climate Change 2007: The Physical Science Basis, contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution climat, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2007, pp. 941-954 <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html> [consultation: 25 janvier, 2008]

3. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Appendix A.2 : glossary », dans *Climate Change 2007 : Synthesis Report*, contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 2007, pp. 869-883, <http://www.ipcc.ch/ pdf/assessment-report/ar4/syr/ ar4_syr_appendix.pdf>, [consultation : 11 juillet 2007].

4. Nahapiet, J. et S. Ghoshal. « Social capital, intellectual capital, and the organizational advantage », *Academy of Management Review*, vol. 23, n° 2, 1998, pp. 242–266 [tel qu'identifié à http://www.resalliance.org/608.php#S].

5. Ressources naturelles Canada. *Toutes les communautés dépendantes des ressources*, Ressources naturelles Canada, Atlas du Canada, 2006, <http://atlas.nrcan.gc.ca/site/francais/maps/economic/rdc2001/rdcall>, [consultation : 11 juillet 2007].

6. University of British Columbia. *What is Grey Literature?*, University of British Columbia, 2007, <http://toby.library.ubc.ca/subjects/subjpage2.cfm?id+878>, [consultation : 9 janvier 2008].

7. Environnement *Canada. L'Étude pan-canadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique*. Environnement Canada, 2002, <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/airg/research_projects/index_view_f.cfm?IdKey=3>, [consultation : 24 janvier 2008].

8. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « Annex B : glossary of terms », dans *Climate Change 2001 : Synthesis Report*, contribution des Groupes de travail I, II et III au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, 2001, pp. 365-389, <http://www.ipcc.ch/pub/syrgloss.pdf>, [consultation : 15 mai 2007].

9. Sécurité publique Canada. *Un cadre de sécurité civile pour le Canada*, Sécurité publique Canada, 2007, <http://www.publicsafety.gc.ca/prg/em/emfrmwrk-fra.aspx>, [consultation : 16 janvier 2008].

10. Association canadienne de normalisation. *Risk management: guidelines for decision-makers*, Association canadienne de normalisation, CAN/CSAQ850-97, 1997.

11. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. *Groupe d'experts intergouvernemental sir l'évolution du climat*, non daté, <http://www.ipcc.ch/about/index.htm>, [consultation : 25 janvier 2008].

12. Sécurité publique Canada. *Protection des infrastructures essentielles*, Sécurité publique Canada, 2007, <http://www.ps-sp.gc.ca/prg/em/nciap/about-fra.aspx>, [consultation : 16 janvier 2008].

13. The Resilience Alliance. *Assessing and managing resilience in social-ecological systems: a practitioner's workbook, volume 1, version 1.0*, The Resilience Alliance, 2007, <http://www.resalliance.org/3871.php>, [consultation : 16 janvier 2008].

14. Programme des Nations Unies pour le développement. *Adaptation policy frameworks for climate change*, Programme des Nations Unies pour le développement, 2005, <http://www.undp.org/gef/undp-gef_publications/publications/apf%20annexes%20a&b.pdf >, [consultation : 16 janvier 2008]

15. Environnement Canada. *Normes de l'OMM pour les « normales climatiques »*, Environnement Canada, non daté, <http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climate_normals/climate_info_f.html>, [consultation : 9 janvier 2008].

16. American Meteorological Association. *Glossary of Meteorology*, American Meteorological Association, 2000, <http://amsglossary.allenpress.com/glossary>, [consultation : 9 janvier 2008].

17. Berkes, F., J. Colding et C. Folke. « Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management », *Ecological Applications*, vol. 10, 2000, pp. 1251-1262.

18. Kump, L.R., J.F. Kating et R.G. Crane. *The Earth System (second edition)*, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2004, 419 p.

19. Klein, R.J.T., M. Alam, I. Burton, W.W. Dougherty, K.L. Ebi, M. Fernandes, A. Huber-Lee, A.A. Rahman et C. Swartz. *Application of environmentally sound technologies for adaptation to climate change*, Secrétariat de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, Bonn, Allemagne, rapport technique FCCC/TP/2006/2, 2006, 107 p.

20. Environnement Canada : Glossaire (2008) : <http://www.ec.gc.ca/default.asp?lang=En&xml=7EBE5C5A-D48B-4162-A3E1-A636EFA7AA01#glossaryw> [consultation : 25 janvier 2008].

* Extrait modifié